

**DOĞAL TAŞ SANAYİNDE KULLANILAN ELMAS
SOKETLERİN KESME PERFORMANSI VE HASAR
ANALİZİ ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

İsmail UCUN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Sileyman TAŞGETİREN

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Şubat 2009

Bu tez çalışması 106M189 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**DOĞAL TAŞ SANAYİNDE KULLANILAN ELMAS SOKETLERİN KESME
PERFORMANSI VE HASAR ANALİZİ ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ**

İsmail UCUN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT – 2009

ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN danışmanlığında, İsmail UCUN tarafından hazırlanan “Doğal Taş Sanayinde Kullanılan Elmas Soketlerin Kesme Performansı ve Hasar Analizi Çerçevesinde İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca

20 / 02 /2009

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metal Eğitimi Anabilim Dalında doktora tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

	Unvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. Mustafa TOPARLI	
Üye	Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN	
Üye	Doç.Dr. Şükrü TAKTAK	
Üye	Doç. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Ayhan EROL	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

ÖZET

DOĞAL TAŞ SANAYİNDE KULLANILAN ELMAS SOKETLERİN KESME PERFORMANSI VE HASAR ANALİZİ ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ

İsmail UCUN

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Bu çalışmada, doğal taş kesme işleminde kullanılan elmas kesici disklerin kesme performansları deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Kesme deneylerinde bilgisayar kontrollü bir blok kesme makinesi kullanılmış ve aynı yönlü kesme modu seçilmiştir. Çalışmada, Blue Pearl ve Nero Zimbabwe olmak üzere iki farklı doğal taş kullanılmıştır. İlk olarak, tek bir kesici disk ve farklı kesme parametrelerinde varyasyon deneyleri yapılarak optimum kesme parametresi belirlenmiştir. Daha sonra, sekiz farklı elmas kesici disk ile kesme testleri yapılmış ve elmas kesici disklerin kesme performansları belirlenmiştir. Varyasyon ve kesme performans deneylerinde, teğetsel, normal ve kesme kuvvetleri, yanıl kuvvetler, spesifik enerji, güç tüketimi ve gürültü değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, elmas soket aşınması bir lazer ölçüm sistemi ile ölçülmüş, soket yüzeyindeki elmas taneciklerde meydana gelen hasarlar optik mikroskop ve SEM ile belirlenmiştir. Kesici disklerin varyasyon ve performans testlerinde genelde kullanılan su dışında, farklı soğutma sıvılarının disk performansı üzerindeki etkisi ayrıca incelenmiştir. Tek bir testere ile yapılan deneylerde su, bor yağı, özel kesme sıvısı ve sıvı sabun olmak üzere dört farklı soğutma sıvısı belirli oranda su ile karıştırılarak kullanılmıştır. Çalışmada, kesme esnasında elmas soket yüzeyinde oluşan sıcaklığı belirlemek için yeni bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Bu ölçüm sistemi ile elmas soket üzerine etki eden sıcaklıklar belirlenmiştir. Tek bir kesici disk ile iki granit türü için farklı parametrelerde kesme sıvısı kullanmadan ve sadece su kullanılarak deneyler yapılmıştır. Nümerik çalışmada, optik ve SEM analizi ile elde edilen hasar durumları göz önüne alınarak elmas taneciği sonlu elemanlar metodu ile modellenmiştir.

2009, 148 sayfa

Anahtar Kelimeler: Doğal taş kesme, Elmas kesici disk, Kesme performansı, Kesme kuvvetleri, Güç tüketimi, Soket aşınması, Sonlu elemanlar yöntemi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DIAMOND SEGMENTS USED IN NATURAL STONE INDUSTRY IN VIEW OF CUTTING PERFORMANCE AND FAILURE ANALYSIS

İsmail UCUN

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

This study undertakes an experimental and theoretical examination of the cutting performance of diamond cutting disc used during the natural stone cutting process. A computer controlled block cutting machine was used during the cutting experiments and the preferred method had been the same-direction cutting method. The Blue Pearl and Nero Zimbabwe granite were used in the study. Firstly, variation tests were performed using a type diamond segment and different cutting parameters and optimum cutting parameters are determined. Then, the variation tests carried out to eight different diamond segments and cutting performance of each diamond disc was determined. Normal and tangential forces, axial forces, specific energy, power consumption and noise values were determined in the variation and the performance tests. The wear occurring on the diamond segment was measured using a laser measurement device and the damage occurring on the segment surface was determined using optical microscope and SEM analysis. While water was preferred during the variation and performance tests of the disc, this study also examined the effect of various coolants on the disc performance. For this purpose, four different types of coolants, namely water, boron oil, a special cutting fluid designed for the diamond and liquid soap, were used after mixing it with water at a specified proportion. In this study, a new measurement system was developed to determine the heat generated on the segment surface during the cutting process. Temperatures effect on the diamond segment were determined with the measurement system. Wet and dry cutting tests were conducted at different cutting parameters for the two granite types using a disc, which was designed specifically for measuring the temperature. In theoretical study, the diamond particle was modeled by finite element method take in to account failures obtained using optic and SEM.

2009, 148 pages

Keywords: Natural stone cutting, Diamond saw blade, Sawing performance, Sawing forces, Power consumption, Segment wear, Finite element method.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN'e, çalışmam süresince tecrübe ve bilgilerini paylaştığım hocalarım Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ, Doç. Dr. İ.Sedat BÜYÜKSAĞIŞ, Öğr. Grv. Mustafa NARTKAYA ve Arş. Grv. S. Mahmut ÇINAR'a, bana moral ve desteklerini esirgemeyen Arş. Grv. İrfan UCUN'a deneylerde kullandığımız kesici disk ve elmas soketlerin üretilmesinde katkıda bulunan UNİMAS A.Ş.'e, kesme numunelerinin sağlanmasında yardımcı olan GRANİTAŞ A.Ş.'e ve çalışmamız süresince maddi imkânlar sağlayan TUBİTAK'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Benim bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan değerli anne ve babam'a ve aile ve akademik hayatıma özveri ile katkı sağlayan değerli eşime şükranlarımı sunarım.

İsmail UCUN

Afyonkarahisar, Şubat 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
RESİMLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Kesme Kuvvetleri ve Spesifik Enerji	4
2.2. Elmas Soket Aşınması	9
2.3. Elmas Kesicilerin Kaplanması	15
2.4. Elmas Soket Sıcaklığı	16
2.5. Elmas Kesicilerin Dinamik Davranışları	16
2.6. Elmas Boncuklu Kesiciler	17
2.7. Doğal Taşlar	19
3. GENEL BİLGİLER	21
3.1. Doğal Taş Endüstrisinde Kullanılan Makineler	21
3.1.1. S/T Blok Kesme Makinesi	21
3.1.2. Baş Kesme-Ebatlama Makineleri	22
3.1.3. Katrak Makinesi	22
3.1.4. Düşey ve Yatay Yarma Makinesi	23
3.1.5. Monolama Makinesi	24
3.1.6. Elmas Boncuklu Teller ile Kesme	25
3.2. Kesici Disk ve Elmas Soketler	25
3.2.1. Kesici Diskler	25
3.2.2. Elmas Soketler	28
3.2.3. Elmas Soketlerin Aşınma Mekanizması	34

3.3. Kesici Disklerin Kesme Mekanizması	37
3.3.1. Kesici Disk Üzerine Etki Eden Kuvvetler	37
3.3.2. Bir Elmas Tanecik Üzerine Etki Eden Kuvvetler	40
3.3.3. Kesici Diskin Spesifik Enerjisi	43
3.4. Sonlu Elemanlar Metodu	43
3.4.1. Kırılma Mekanik Analizi	44
3.4.2. Gerilme Şiddet Faktörü	47
4. MATERYAL VE METOT	49
4.1. Kesme Testleri	49
4.2. Sıcaklık Ölçümünde Kullanılan Ölçüm Düzenegi	52
4.3. Aşınma Deney Düzenegi	55
4.4. Deney Parametreleri ve Elmas Kesici Diskin Özellikleri	57
4.5. Deney Numunelerinin Mekanik ve Malzeme Özellikleri	63
4.6. Elmas Taneciğinin Sonlu Elemanlar Modeli	65
4.6.1. Elmas Tanecik ve Matriksin Geometrik Modeli	65
4.6.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Mesh Yapısı	67
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	69
5.1. Varyasyon Deneyleri	69
5.1.1. Güç Tüketiminin Belirlenmesi	69
5.1.2. Kesme Kuvvetleri	71
5.1.3. Spesifik Enerjinin Belirlenmesi	76
5.1.4. Gürültünün Ölçülmesi	78
5.2. Farklı Elmas Soketlerin Kesme Performans Deneyleri	81
5.2.1. Güç Tüketiminin Belirlenmesi	81
5.2.2. Kesme Kuvvetlerinin Belirlenmesi	82
5.2.3. Spesifik Enerjinin Belirlenmesi	86
5.2.4. Elmas Soket Aşınmasının Belirlenmesi	87
5.2.5. Elmas Taneciklerde Meydana Gelen Hasarların İncelenmesi	89
5.3. Farklı Soğutma Sıvılarının Kesme Performansına Etkisi	95
5.3.1. Güç Tüketiminin Belirlenmesi	96
5.3.2. Kesme Kuvvetlerinin Belirlenmesi	98
5.3.3. Spesifik Enerjinin Belirlenmesi	103

5.3.4. Gürültünün Ölçülmesi	104
5.3.5. Elmas Soket Aşınması	104
5.4. Elmas Soket Sıcaklığının Belirlenmesi	108
5.4.1. Termal Kamera ile Yapılan Sıcaklık Ölçümleri	108
5.4.2. Suyun Elmas Soket Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi	111
5.4.3. Kuru Kesme Koşullarındaki Elmas Soket Sıcaklıklarının Belirlenmesi	116
5.4.4. Kuru kesme şartlarında elmas soketin incelenmesi	120
5.5. Elmas Soketin Sonlu Elemanlar Modeli	122
5.5.1. Gerilme Analizi Sonuçları	122
5.5.2. Kırılma Analizi Sonuçları	124
6. SONUÇLAR	129
7. KAYNAKLAR	133
ÖZGEÇMİŞ	144

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

A_n	Temas bölgesindeki elmas tanecik sayısı
C	Her bir elmas soketteki asıl etkili olan elmas tanecik sayısı
C_a	Birim alandaki aktif tanecik sayısı
D	Kesici diskin çapı (mm)
F_n	Normal kuvvet (N)
F_k	Kesme kuvveti (N)
F_t	Teğetsel kuvvet (N)
F_x	Yatay kuvvet (N)
F_y	Düşey kuvvet (N)
F_z	Yanal kuvvet (N)
G	Malzemenin kayma modülü
L	Soket uzunluğu
L_a	Çatlak ucundaki eleman boyutu
L_c	Kesme bölgesinin temas uzunluğu
L_k	Soketler arasındaki boşluk mesafesi
K_I	Mod I deki gerilme şiddet faktörü
K_{II}	Mod II deki gerilme şiddet faktörü
P	Güç tüketimi (W)
Q'_w	Birim zamanda kesilen doğal taş hacmi (cm ³ /dk)
Q_w	Birim zamanda kesilen doğal taş miktarı (cm ² /dk)
V_s	Kesici diskin çevresel hızı (m/sn)
V_w	Kesici diskin ilerleme hızı (m/dk)
V_{w1}	Bir dişe karşılık gelen ilerleme miktarı
a	Çatlak uzunluğu
a_p	Kesme derinliği (mm)
b	Elmas soket genişliği
d	Elmas tanecik boyutu

f_n	Bir elmas tanecik üzerine etki eden normal kuvvet (N)
f_k	Bir elmas tanecik üzerine etki eden kesme kuvveti (N)
f_t	Bir elmas tanecik üzerine etki eden teğetsel kuvvet (N)
h	Elmas soketin yüksekliği
h_1	Elmas tanecik yüksekliği
h_m	Ortalama talaş kalınlığı
h_{max}	Bir pasodaki maksimum talaş yüksekliği
θ_e	Ölçülen elmas soket sıcaklığı
θ_{su}	Kesme esnasında kullanılan suyun sıcaklığı
θ_o	Kesme yapılan ortamın sıcaklığı
α	Normal kuvvetin etki açısı
β	Kesici diskin kavrama açısı
δ	Tepkisel kuvvetin etki açısı
μ	Kuvvet oranı
η	Aktif tanecik sayısının asıl etkili olan tanecik sayısına oranı
γ	Numunenin geometrik özelliğine bağlı boyutsuz parametre

2. Kısaltmalar

EMB, EDC	Doğal elmas aşındırıcılar
SDA	Yapay elmas aşındırıcı
SE	Spesifik enerji değeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması.	19
Şekil 3.1 Kesici diskin mikro yapısı.	27
Şekil 3.2 Dairesel kesici diskler ile kesme modları.	27
Şekil 3.3 Elmas boyutunun kesilen kayaç durumuna bağlı değişimi.	32
Şekil 3.4 Bir elmas taneciğinin kesme mekanizması.	35
Şekil 3.5 Aşağı yönlü kesme işleminde elde edilen kuvvetler.	37
Şekil 3.6 Yukarı yönlü kesme işleminde elde edilen kuvvetler.	39
Şekil 3.7 Bir elmas tanecik üzerine etki eden kuvvetler.	40
Şekil 3.8 Deforme olmamış talaş oluşumunun gösterilmesi.	42
Şekil 3.9 Kırılma mekaniği problemlerinde karşılaşılan kırılma modları.	45
Şekil 3.10 Çatlak ucunda gerilme bileşenleri için koordinat sistemi.	46
Şekil 3.11 Gerilme şiddet faktörünün hesaplanması için kullanılan düğüm bölgesi.	48
Şekil 4.1 Blok kesme makinesinin şematik görünümü.	50
Şekil 4.2 a) F_x , F_y and F_z kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi, b) Güç tüketiminin zamana bağlı değişimi.	52
Şekil 4.3 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan deneysel düzeneğin şematik görünümü.	54
Şekil 4.4 Sıcaklık ölçümü için tasarlanan düzeneğin bağlantı şeması.	54
Şekil 4.5 Soket aşınmasının ölçülmesinde kullanılan deney düzeneğinin şematik görünümü.	56
Şekil 4.6 Elmas sokette meydana gelen aşınmanın gösterilmesi, a) Disk çevresi boyunca, b) Daha dar bir çevrede gösterimi.	57
Şekil 4.7 Elmas kesici diskin geometrik özellikleri.	59
Şekil 4.8 Elmas Kesici disklerdeki soket matriksinin sertlikleri.	59
Şekil 4.9 B1, B2, B3 ve B4 elmas soketlerin EDS analizi.	60
Şekil 4.10 B5 elmas soketin EDS analizi.	61
Şekil 4.11 B6 elmas soketin EDS analizi.	61
Şekil 4.12 B7 elmas soketin EDS analizi.	62
Şekil 4.13 B8 elmas soketin EDS analizi.	62

Şekil 4.14 Elmas tanecik ve soket matriksinin geometrik modeli ve sınır koşulları (birim mm).	66
Şekil 4.15 Elmas taneciğinin kesitteki görüntüsü.	66
Şekil 4.16 Elmas tanecik ve matriksin sonlu elemanlar modeli.	68
Şekil 5.1 Güç tüketiminin çevresel hız ve kesme derinliğine bağlı değişimi.	70
Şekil 5.2 Güç tüketiminin birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.	71
Şekil 5.3 Teğetsel ve normal kuvvetlerin kesme derinliğine ve çevresel hıza bağlı değişimi.	72
Şekil 5.4 Teğetsel ve normal kuvvetlerin kesme derinliğine bağlı değişimi.	73
Şekil 5.5 F_t/F_n oranlarının birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.	74
Şekil 5.6 Farklı çevresel hızlarda kesme kuvvetleri ve kuvvet oranının karşılaştırılması.	74
Şekil 5.7 Kesme derinliği ve çevresel hıza bağlı F_z kuvvetlerinin değişimi.	75
Şekil 5.8 Kuvvet oranlarının birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.	76
Şekil 5.9 Spesifik enerjinin kesme derinliğine ve kesme hızına bağlı olarak değişimi.	77
Şekil 5.10 Spesifik enerjinin farklı çevresel hızlarda birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı olarak değişimi.	78
Şekil 5.11 Farklı çevresel hızlarda kesme derinliğine bağlı gürültünün değişimi.	80
Şekil 5.12 Gürültünün birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.	80
Şekil 5.13 Güç tüketiminin farklı elmas kesicilere bağlı değişimi.	82
Şekil 5.14 Teğetsel kuvvetlerin farklı elmas kesici disklerle bağlı değişimi.	83
Şekil 5.15 Normal kuvvetlerin farklı elmas kesicilere bağlı değişimi.	84
Şekil 5.16 Kesme kuvvetlerinin farklı elmas kesicilere bağlı değişimi.	84
Şekil 5.17 Kuvvet oranlarının farklı elmas kesici disklerle bağlı değişimi.	85
Şekil 5.18 F_z kuvvetlerinin ve soket yüksekliğinin farklı elmas kesici disklerle bağlı değişimi.	86
Şekil 5.19 Spesifik enerjinin farklı elmas kesici disklerle bağlı değişimi.	87
Şekil 5.20 Farklı elmas kesici disklerle bağlı spesifik aşınma miktarlarının değişimi.	89
Şekil 5.21 Farklı kesici disklerdeki elmas hasar oranları (Blue Pearl).	90
Şekil 5.22 Farklı kesici disklerdeki elmas hasar oranları (Nero Zimbabwe).	92
Şekil 5.23 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak güç tüketiminin değişimi.	97

Şekil 5.24 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak teğetsel kuvvetin değişimi.	98
Şekil 5.25 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak normal kuvvetin değişimi.	99
Şekil 5.26 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak kesme kuvvetinin değişimi.	99
Şekil 5.27 Aşınmış ve aşınmamış soket durumlarında talaş oluşumu.	100
Şekil 5.28 Aşınmış bir soket yüzeyinden alınan mikroskop görüntüsü.	101
Şekil 5.29 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak kuvvet oranlarının değişimi.	101
Şekil 5.30 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak yanal kuvvetin değişimi.	103
Şekil 5.31 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak spesifik enerjinin değişimi.	103
Şekil 5.32 Farklı soğutma sıvılarına bağlı gürültü değerleri.	104
Şekil 5.33 Farklı soğutma sıvılarına bağlı elmas soket aşınması.	105
Şekil 5.34 Farklı kesme sıvılarına bağlı elmas hasar oranı (Blue Pearl).	107
Şekil 5.35 Farklı kesme sıvılarına bağlı elmas hasar oranı (Nero Zimbabwe).	108
Şekil 5.36 Farklı kesme derinliklerindeki soket sıcaklık artışının kesme zamanına bağlı değişimi.	112
Şekil 5.37 Farklı kesme derinliklerine bağlı olarak elmas soket sıcaklık artışının değişimi, $V_s=30$ m/sn a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.	113
Şekil 5.38 Farklı kesme derinliklerine bağlı olarak elmas soket sıcaklık artışının değişimi, $V_s=35$ m/sn a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.	113
Şekil 5.39 Farklı kesme derinliklerine bağlı olarak elmas soket sıcaklık artışının değişimi, $V_s=40$ m/sn a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.	114
Şekil 5.40 Farklı kesme derinliklerine bağlı olarak elmas soket sıcaklık artışının değişimi $V_w=0,4$ m/dk, a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.	114
Şekil 5.41 Elmas soket sıcaklık artışının birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.	115
Şekil 5.42 Farklı su debilerine bağlı olarak elmas soket sıcaklığının değişimi ($V_s=30$ m/sn, $V_w=0,4$ m/dk, $a_p=20$ mm).	116
Şekil 5.43 Elmas soket sıcaklığının kesme zamanına bağlı değişimi.	117
Şekil 5.44 Kesme derinliğine bağlı elmas soket sıcaklığının değişimi, $V_s=30$ m/sn a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.	118
Şekil 5.45 Kesme derinliğine bağlı elmas soket sıcaklığının değişimi, $V_s=35$ m/sn a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.	118
Şekil 5.46 Kesme derinliğine bağlı elmas soket sıcaklığının değişimi, $V_s=40$ m/sn	119

a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.	119
Şekil 5.47 Farklı çevresel hızlarda elmas soket sıcaklığının değişimi a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.	119
Şekil 5.48 Elmas soket sıcaklığının birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.	120
Şekil 5.49 Elmas tanecik ve soket matriks üzerindeki Von Misses gerilme dağılımı.	122
Şekil 5.50 Von Misses gerilmelerinin elmas tanecik boyutuna bağlı değişimi.	123
Şekil 5.51 Kayma gerilmelerinin elmas tanecik boyutuna bağlı değişimi.	124
Şekil 5.52 Farklı elmas tanecik yüksekliklerine bağlı olarak K_I in değişimi.	125
Şekil 5.53 Elmas tanecik ve matriks arasında meydana gelen ayrılmanın değişimi.	126
Şekil 5.54 Farklı elmas tanecik yüksekliklerine bağlı olarak K_{II} in değişimi.	127
Şekil 5.55 Maksimum ayrılma uzunluğundaki elmas taneciğın deformasyon bölgeleri.	127
Şekil 5.56 Farklı elmas tanecik yüksekliklerine bağlı olarak K_{eff} in değişimi.	128

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa No
Resim 3.1 S/T blok kesme makineleri a) Dört sütunlu b) İki sütunlu.	22
Resim 3.2 a) Baş kesme makinesi, b) Çoklu ebatlama makinesi.	22
Resim 3.3 Katrak makinesi.	23
Resim 3.4 Yatay yarma makinesi.	24
Resim 3.5 Monoloma makinesi.	24
Resim 3.6 Tel kesme makinesi	25
Resim 3.7 Elmas kesici diskler a) Standart kanallı, b) Dar kanallı, c) Sürekli kesici disk.	26
Resim 3.8 Elmas soketli kesici bir disk.	28
Resim 3.9 Elmas soket tipleri.	28
Resim 3.10 De Beers in kesici takımlar için ürettiği elmas tanecikleri a) EMB (doğal elmas), b) SDA100+, c) SDA+, d) EDC (doğal elmas).	31
Resim 4.1 Makinenin modernizasyondan a) Önceki, b) Sonraki görüntüsü.	49
Resim 4.2 Kesme deneylerinde kullanılan a) Dinamometre, b) Gürültü ölçer.	50
Resim 4.3 Makinenin hareketlerini kontrol etmek için kullanılan program ara yüzü.	51
Resim 4.4 Kesme işlemi sonrasında elde edilen değerler.	51
Resim 4.5 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan deney düzeneği.	53
Resim 4.6 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan programın ara yüzü.	55
Resim 4.7 Soketlerde meydana gelen aşınmanın ölçümü için tasarlanmış düzenek.	56
Resim 4.8 Lazer cihazında kullanılan programın ara yüzü.	57
Resim 4.9 Deneylerde kullanılan doğal taşların kesildikten sonraki görüntüsü (birim mm).	63
Resim 4.10 Deneylerde kullanılan granit türü kayaçların görüntüsü a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.	64
Resim 5.1 Abrasiv aşınmaya maruz kalmış elmas soket yüzeyinin SEM görüntüsü.	88
Resim 5.2 Erozif aşınma görülmüş elmas soketin SEM görüntüsü.	88
Resim 5.3 Yeni elmas taneciklerinin SEM görüntüleri.	92
Resim 5.4 Kırılmış elmas tanecik yüzeylerinin SEM görüntüleri a) Mikro kırılmış, b) Makro kırılmış.	93

Resim 5.5 Düzleşmiş elmas tanecikleri.	94
Resim 5.6 Dökülmüş elmas taneciklerinin matriks yüzeyindeki SEM görüntüleri.	95
Resim 5.7 Kesme esnasında termal kameradan alınan sıcaklık değerleri.	109
Resim 5.8 Kesme esnasında termal kameradan alınan sıcaklık değerleri.	109
Resim 5.9 Düşük kesme derinliklerinde termal kamera ile elde edilen sıcaklık ölçümleri.	110
Resim 5.10 Deney sonrasında termokupl bağlanan elmas soketteki sıcaklık dağılımı.	111
Resim 5.11 Kuru kesme işleminden sonra elmas soket yüzeyi.	120
Resim 5.12 Yanmış elmas tanecikleri.	121
Resim 5.13 Düzleşmiş elmas tanecikleri.	121
Resim 5.14 Elmas tanecik ve matriks yüzeyiğinin SEM görüntüsü.	125

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.2 Elmas tane boyutunun ANSI mesh standardında gösterilmesi.	33
Çizelge 4.1 Varyasyon deneylerinde kullanılan kesme parametreleri.	58
Çizelge 4.2 Deneylerde kullanılan elmas kesici disklerin özellikleri.	58
Çizelge 4.3 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan kesme parametreleri.	63
Çizelge 4.4 Granitlerin minerolojik özellikleri.	64
Çizelge 4.5 Granitlerin fiziko-mekanik özellikleri.	65
Çizelge 4.6 Soket ve elmas taneciğın geometrik özellikleri.	67
Çizelge 4.7 Soket ve elmas malzemelerinin mekanik özellikleri.	67
Çizelge 5.1 Makinenin boşta çalıştırılmasında elde edilen gürültü değerleri.	79

1. GİRİŞ

Elmas kesici takımlar metal ve metal dışı pek çok malzemenin işlenmesinde kullanılmaktadır. Metal malzemelerde kesme, frezeleme, taşlama, tornalama gibi işlemlerde tercih edilmektedir. Beton, mermer, granit, traverten, asfalt gibi metal dışı malzemelerin kesilmesi ve parlatılmasında ise elmas kesiciler geniş kullanım alanına sahiptir.

Dünyada doğal taş rezervlerinin yüksek olması ve sürekli yeni rezervlerin bulunması ile elmas aşındırıcılara olan gereksinim sürekli artmaktadır. Elmas aşındırıcılar günümüzde katrik lamalar, kesici disk, boncuk gibi çok değişik şekillerde kesici olarak kullanılmaktadır. Endüstride en yaygın olarak kullanım şekli farklı çaplardaki kesici disklere lehim ile birleştirilen elmas soketlerdir.

Elmas kesiciler (=soket) ile kesme işlemi oldukça karmaşık bir işlemdir. Kesme işlemi doğrudan ve dolaylı olarak pek çok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörlerin bilinmesi veya tahmin edilmesi disk performansı ve verimi açısından önemlidir. Kesilen doğal taş türü, elmas konsantrasyonu, elmas boyutu, elmas kalitesi, matriks özellikleri gibi faktörler kesme işlemi etkilemektedir. Ayrıca, kesme hızı, çevresel hız, kesme derinliği, su debisi, kesme modu gibi pek çok kesme parametreleri de kesme işlemi doğrudan etkilemektedir.

Elmas soket, matriks ve elmas taneciklerinden meydana gelen kompozit bir malzeme olduğundan, malzemedeki kullanılacak toz boyutları ve kalitesi elmas soketin kalitesini belirlemede, sinterleme ve presleme koşulları elmas soketin mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir.

Çalışanın bilgi ve becerisi de kesme işlemi etkilemektedir. Disk ve soket kırılması gibi hasarlar genellikle insan faktöründen kaynaklanan ve oldukça sık rastlanan bir durumdur. Ani ve şok kuvvetler bu türlü hasarların meydana gelmesine yol açmaktadır. Kesme işlemi yapılacak makinenin bilgisayar kontrollü olması insan faktörünü devreden çıkardığı için bu gibi hasarların oluşması engellenmektedir.

Doğadan çıkartılan elmas, rengi ile değer kazanmaktadır. Doğal elmasın çok büyük bir bölümünün değeri düşük kabul edilmekte ve aşındırıcı olarak endüstride kullanılmaktadır. Günümüzde doğal olarak kabul edilen bu aşındırıcılar ile birlikte yaygın olarak sentetik elmaslar da tercih edilmektedir. Doğal elmasların istenilen geometrik şekillerde olmaması kullanım alanını daraltsa da, sentetik elmasların üretilmesi ile istenilen geometriler kolayca verilmektedir. Bu sayede doğal taş özelliğine göre elmas tanecik geometrisi kolayca seçilebilmektedir. Sentetik elmaslar değişik geometrilerde imal edilebildiği gibi, çok farklı kalitelerde de üretilebilmektedir. Bu kalitedeki elmaslar kesilecek doğal taşta göre tercih edilmektedir. Sertliği yüksek doğal taşlarda kırılma mukavemeti yüksek elmas tanecikler seçilirken, kesilmesi kolay olan yumuşak malzemelerde ise daha düşük değerli elmaslar seçilmektedir.

Elmas kesiciler ile kesme işlemi yaparken soket performansı verim ve maliyet açısından çok önemlidir. Doğal taş işletmeleri, kesme performansı yüksek, uzun ömürlü, az enerji tüketen ve ekonomik elmas soketlere talep etmektedir. Soket üreticilerinin ise bu özelliklerin hepsini bir anda sağlaması mümkün görünmemektedir. Mesela, kesme performansı yüksek elmas soketlerde daha kaliteli elmas tanecikler kullanılmakta bu da maliyeti önemli ölçüde artırmaktadır. Performansı düşük olan kesiciler ise hem daha fazla enerji harcayacak hem de verimin düşük olmasıyla birim zamandaki üretim kapasitesi düşecektir.

Bu çalışmada, doğal taş endüstrisinde kullanılan elmas soketlerin kesme performansları deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Çalışma aşağıdaki kısımları kapsamaktadır;

- Öncelikle, tek bir doğal taş ve elmas kesici ile farklı kesme parametrelerine bağlı olarak varyasyon deneyleri yapılmıştır. Varyasyon deneyleri ile güç tüketimi, kesme kuvvetleri, spesifik enerji ve gürültü değerleri belirlenerek optimum kesme parametresi tespit edilmiştir.
- Daha sonra varyasyon deneylerinde belirlenen optimum kesme parametresini kullanarak iki farklı doğal taş (Blue Pearl ve Nero Zimbabwe granitleri) ve sekiz farklı elmas soketler ile kesme performans deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde,

varyasyon deneylerinde bulunan değerlerle birlikte elmas soket aşınması ve elmas tanecik hasar türleri belirlenmiştir.

- Ayrıca, bütün deneylerde soğutma sıvısı olarak kullanılan suya karşı alternatif soğutma sıvıları kesme deneylerinde kullanılarak etkileri araştırılmıştır. Tek bir tür elmas kesici ile su, bor yağı, özel kesme sıvısı (Ace-Cool) ve sıvı sabun kullanarak kesme performans deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, elmas tanecik hasar türleri belirlenmiştir.
- Öte yandan kesme esnasında elmas soket yüzeyine etki eden kesme sıcaklığı deneysel olarak belirlenmiştir. Bunun için yeni bir deney düzeneği tasarlanmış ve hem su kullanarak hem de kuru kesme koşullarındaki kesme sıcaklığı belirlenmiştir.
- Son olarak ise, deneysel sonuçlar kullanılarak elmas tanecik ve soket matriksi sonlu elemanlar metodu ile mikro düzeyde modellenmiştir. Böylelikle, elmas taneciğinin matriksten ayrılma durumu göz önüne alınarak gerilme ve kırılma analizleri yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Elmas kesiciler ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle elmas soketlerin aşınması, performansı ve oluşan kuvvetler üzerine odaklanmıştır. Bunlara ilaveten elmas hasar durumları, matriks karakterizasyonu, analitik ve nümerik modelleme konuları yapılan diğer çalışmalardır. Ayrıca, elmas kesici disklerin dinamik davranışlarının incelenmesi ve elmas kesici teller ile ilgili çalışmalar da literatürde yer almaktadır.

Doğal taş kesme mekanizmasının temelleri metal kesme mekanizması üzerine kurulmuştur. Günümüzdeki kesme mekanizması Evans ve Nishimatsu teorilerine dayanmaktadır. Nishimatsu (1972) doğal taş kesme mekanizması üzerinde bir teori önermiş ve doğal taş kesmedeki hasar süreçleri üzerindeki gözlemleri rapor etmiştir. Doğal taş kesimi için metal kesmedeki bilinen Merchant'ın formülü kullanılmıştır. Kesme işleminde, elde edilen talaşlarda hiçbir plastik deformasyonun olmadığını gözlemlemiştir. Fakat bu gözlem daha ileri yıllardaki Tönshoff vd. (2002) tarafından farklı değerlendirilip, kesme işleminde doğal taş üzerinde hem elastik hem de plastik deformasyon bölgesinin oluştuğu vurgulanmıştır.

Literatüre bakıldığında elmas kesicilere yönelik araştırmaların farklı alanlarda olduğu görülmektedir. Bu nedenle aşağıda yapılan literatür araştırmaları bazı başlıklar altında toplanmıştır.

2.1. Kesme Kuvvetleri ve Spesifik Enerji

Bir doğal taşın petrografik özellikleri o doğal taşın sadece mukavemeti ve deforme edilebilirliğini değil, aynı zamanda kesilebilirliğini de belirler. Sanio (1985) yaptığı çalışmada farklı yapısal özelliklere sahip anizotropik doğal taşların kesilmesi esnasında disk performansını deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Kesici diskin kesme yüksekliğine bağlı olarak elmas kesici takım üzerine gelen normal kuvvetler belirlenmiştir. Kesme derinliğinin artması normal kuvvetler üzerinde önemli bir etki oluşturmuştur. Bu etkiyle normal kuvvetlerin arttığı görülmüştür.

Tönshoff vd. (1993) S/T tezgâhında kullanılan 900 mm çaplı bir elmas kesici disk ile doğal taşların kesilmesinde kesme kuvvetlerini elde etmişlerdir. Kesme kuvvetleri kesme derinliği, ilerleme ve çevresel hız gibi kesme parametreleri altında dinamometre ile ölçülmüştür. Kesme derinliği ve kesme hızının artması ile normal ve teğetsel kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca, çevresel hızın artması kesme kuvvetlerini bir miktar düşürmüştür. Normal kuvvetler, teğetsel kuvvetlere göre daha büyük olarak elde edilmiştir.

Clausen ve Stangenberg (1998) kataraklarla kesme işlemi için yeni bir makine modeli geliştirmişlerdir. Modeli oluşturulan makinenin davranışlarının üç elmas soketli katraka göre farklı olduğu görülmüştür. Makine ve elmas soket üzerindeki bazı yeniliklerin yapılabilmesi için, malzeme özellikleri, işleme kuvvetleri, sıcaklık ve titreşim gibi bazı bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. Asche (1999), granitin derin kesme işleminde testere üzerinde etkili olan titreşim, gürültü ve kuvvetleri belirlemiştir. Daha sonra bu değerleri işlenecek olan malzemenin özellikleri ile karşılaştırmıştır. Çalışmada, derin kesme işleminde ısıl yük kritik sınıra ulaşmadığı için, her hangi bir hasar görülmemiştir. Kesilecek olan taşın minerolojik özelliklerine bakıldığında, kesmeyi etkileyen en önemli mineralin kuvars olduğu görülmüştür.

Xu (1999) elmas soketli bir testere ile granitin kesilmesi esnasındaki sürtünme özelliklerini incelemiştir. Öncelikle belirli kesme oranlarını göz önüne alarak bazı deneyler yapmış, kesme kuvvetleri ve spesifik enerji değerlerini elde etmiştir. Kesme derinliğinin artması ile spesifik enerjilerinin de arttığı görülmüştür. Burada, sürtünme katsayısı ile spesifik enerji arasında bir ilişki kurulmuş ve sürtünme katsayısının artması ile spesifik enerji değerlerinin arttığı görülmüştür.

Sun vd. (2002) yaptıkları çalışmada 105 mm çapa sahip SiC içeren yeni bir kesici disk tasarlamışlardır. Bu kesici diski bir doğal taş kesme fabrikasında kesme performans testine tabi tutmuşlardır. Uygun sertliğe ve yüksek burulma mukavemetine sahip olan soket matriksinin yüksek verimle kestiği görülmüştür.

Wang ve Clausen (2002) yaptıkları çalışmada, elmas soketler ve tek noktalı kesici takım ile mermer kesme işleminde kinematik davranışları incelemiştir. Katrak lamaları kullanılarak yapılan çalışmada kesme esnasında oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme kuvvetleri, kesme zamanı, kesme derinliği, kesme hızı, ilerleme gibi değişik parametrelere bağlı olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kesme işlemi kuru ve su kullanılarak yapılmıştır. Kesme kuvvetlerinin kuru kesme şartlarında daha büyük olduğu görülmüştür. Diğer bir çalışmada ise, Wang ve Clausen (2003) elmas katraklarla kesme işleminde kesme kuvvetleri ve aşınmaya bağlı hasar durumlarını incelemiştir.

Wei vd. (2003) ise yaptıkları çalışmada asfaltın elmas kesici diskler ile kesilmesi esnasındaki elmas soket performansını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada, kuru ve su kullanılarak kesme işlemi yapılmıştır. Suyun kullanılmasında elde edilen kuvvetlerin kuru kesme şartına göre daha küçük değerlerde çıktığı görülmüştür. Sonuçta, asfalt özelliklerinin kesme kuvvetlerini belirleyici bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetleri üzerinde çevresel hızın etkisinin, kesme derinliği ve ilerleme hızından daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Başka bir çalışmada Xu vd. (2003) elmas bir kesici disk ile granitin kesilmesi işleminde kuvvet oranlarını kesme performansı açısından incelemiştir. Xu ve Li (2003) yaptıkları çalışmada su, hava, suda çözülebilir yağ ve gres yağının disk performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Gres yağında daha büyük teğetsel ve normal kuvvetler elde edilmiştir. Spesifik enerji açısından değerlendirildiğinde en az enerji suda çözülen yağda görülmüştür.

Büyüksağış vd. (2003) yaptıkları çalışmada altı farklı travertenin bir blok kesme makinesi ile kesilmesi esnasında, doğal taşın tabaka yönlerinin spesifik enerjiye etkisini araştırmışlardır. Kesme işleminde elde edilen spesifik enerjilerin tabaka yönlerine göre farklılık gösterdiği görülmüştür. Tabakaya dik yöndeki spesifik enerjiler, paralel duruma göre daha fazla değerlerde elde edilmiştir. Aynı zamanda, mekanik testlerde, eğme ve böhme aşınma dayanımlarının belirlenmesinde tabaka yönlerinin önemli etkisinin olduğunu vurgulamışlardır.

Elmas kesici diskler genellikle doğal taşların kesilmesinde kullanıldığı gibi, asfalt ve beton gibi malzemelerin kesilmesinde de kullanılmaktadır. Wang vd. (2004) yaptıkları çalışmada takviye edilmiş betonların elmas kesici diskler ile kesme işlemindeki kuvvetleri deneysel bir çalışma ile incelemişlerdir. İlerleme hızının artması ile kesme kuvvetleri önemli ölçüde artmıştır. Maksimum kuvvetler çelik fiberle takviye edilmiş beton blokda görülmüştür. Burada elde edilen kuvvetlerin takviye edilmiş betonların dayanımı ile orantılı olduğu görülmüştür. Takviye elemanı betonun dayanımını artırdığından kesme işlemi önemli ölçüde zorlaşmıştır. Burada Cu/Sn-Co socket bileşiminin beton kesme işleminde uygun olmadığı görülmüştür.

Rosa vd. (2004), yaptıkları çalışmada, farklı türdeki doğal taşların değişik elmas kesiciler ile kesilmesi esnasında kesme kuvvetleri ve elektrik enerji tüketimlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Kesme kuvvetlerinin, çevresel hızın artması ile azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, kesme hızının artması ile elektrik enerjisi önemli ölçüde artmaktadır. Daha sert ve akma gerilimi yüksek elmas socketlerin, diğerlerine göre daha az enerji ve kuvvetlere maruz kaldığı tespit edilmiştir.

Ersoy ve Atıcı (2004) çalışmalarında, farklı kesme parametreleri, elmas socketler ve değişik doğal taş kullanarak dairesel testere üzerine etki eden kesme kuvvetleri ve spesifik enerjiyi incelemişlerdir. Kesme kuvvetleri; talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak artmasına rağmen, çevresel hızın artması ile teğetsel kuvvetlerin düştüğü görülmüştür. Kesme derinliği ve ilerleme oranlarının artması spesifik enerjiyi de düşürmüştür. Bu azalmanın kesme derinliğinin artışıyla daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, kesme kuvvetleri ve spesifik enerjinin belirlenmesinde doğal taş türlerinin mukavemeti, sertliği, aşındırıcılığı önemli faktörler olarak bulunmuştur. Daha sert ve mukavemeti yüksek olan doğal taşların spesifik enerjileri, yumuşak ve daha az mukavemetli doğal taşlara göre düşük değerlerde elde edilmiştir. Başka bir çalışmada, Ersoy ve Atıcı (2005) testerenin işleme ve doğal taş özelliklerine bağlı olarak spesifik enerji üzerindeki etkisini incelemiştir.

Başka bir çalışmada, Büyüksağış ve Gökten (2005), yedi farklı doğal taşın kesilebilme durumlarını bir blok kesme makinesi ile belirlemiştir. Çalışmada, spesifik enerji

değerleri karşılaştırılmış olup, sığ kesme derinliği ve düşük ilerleme hızlarında elmas kesicinin verimsiz olduğu görülmüştür. Çalışmada, söz konusu doğal taşlar için kesme derinliği ve ilerleme hızlarının artması ile elmas testerenin daha verimli kestiği görülmüştür.

Huang vd. (2006) yaptıkları çalışmada iki farklı granitin kesilmesi esnasında kesme kuvvetleri ve spesifik enerjileri deneysel olarak incelemişlerdir. Siyah granitin kırmızıya göre daha büyük teğetsel ve normal kuvvetlere neden olduğu görülmüştür. Kesme derinliğinin artması ile her iki doğal taş türü için kesme kuvvetleri önemli ölçüde artmıştır. Çevresel hızın artması ile teğetsel ve normal kuvvetlerde belirli bir azalma meydana gelmiştir. Spesifik enerji ise kesme derinliğinin artması ile önemli ölçüde artmıştır.

Yu vd. (2006) farklı bir geometrik şekle sahip bir elmas soket tasarlamışlar ve standart soketler ile performans deneylerini incelemişlerdir. Sonuçta, yeni tasarlanan elmas soketteki güç tüketimi ve tepkisel kuvvetleri, standart soketten daha düşük değerler olarak elde edilmiştir.

Hu vd. (2006) ise farklı elmas soket genişlikleri kullanarak betonun kuru kesme işleminde disk üzerine etki eden titreşim ve tepkisel kuvvetleri ölçmüşlerdir. Kesme hızının artışı ile x, y ve z yönündeki tepkisel kuvvetler artsa da, titreşim genliğinde düşme görülmüştür. Ayrıca, burada soket genişliği en küçük olanın kuvvet ve titreşim yönünden daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Gertsch vd. (2007) yaptıkları çalışmada tünel kazma amaçlı kullanılan 432 mm çapındaki elmas diskli kazıcının performansını tahmin etmişlerdir. Çalışmada, laboratuvar ortamında yapılan kesme testlerinin bir serisi granit üzerinde uygulanmıştır. Kuvvetlerin kesme derinliğine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Elde edilen spesifik enerji ile optimum kesme derinliğinin 76 mm olduğu görülmüştür.

Elmas diskler ile kesme işleminde kesilen plaka ile birlikte sürekli atık oluşmaktadır. Ocaktan çıkartılan bir bloğun yaklaşık % 40-50 si atık olarak çıkabilmektedir. Bu doğal

taş endüstrisinde büyük bir sorun olarak hala sürmektedir. Bu sorunların önlenmesi için genellikle soket genişlikleri azaltılmaktadır. Bunun için en optimum genişliğin seçilmesi ekonomik ve verimlilik açısından önemlidir. Bu konuda, Han vd. (2007) yaptıkları çalışmada ince kesitli ve normal elmas soketli kesici diskler ile granitin kesilmesi esnasında disk performansını deneysel bir çalışma ile incelemişlerdir. Güç ve kesme kuvvetleri deneysel olarak ölçülmüştür. Her iki testere için güç ve kuvvetler kesme derinliğinin artması ile artmıştır.

Yu vd. (2008) farklı elmas boyutları ile elmas aşındırıcıların mekanik davranışlarını incelemiştir. Elmas aşındırıcıda, bakır ve demir olmak üzere iki farklı matriks yapısı kullanılmıştır. Bu soketlerin kırılma davranışları SEM ve EDS analizleri ile incelenmiştir.

Xu ve Du (2008) doğal taş ve çeliklerin Kübik Bor Nitrür (CBN) kesici bir disk ile kesilmesi işleminde güç tüketimlerini araştırmışlardır. Deneylerde, kesme numunesi olarak granit, sertleştirilmiş çelik ve yüksek hız çelikleri kullanılmıştır. Bu üç numunede de kesme derinliğinin artması ile güç tüketimi önemli ölçüde artmıştır.

2.2. Elmas Soket Aşınması

Wright ve Cassapi (1985) doğal taş kesilebilirliğini etkileyen faktörlerle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada doğal taş içersindeki kuvars oranının elmas soket aşınması üzerinde önemli etkisinin olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada, minerallerin mohs sertliği ve petrografik analizleri ile elmas soket aşınması arasında bir bağlantının kurulmasının oldukça güç olduğu görülmüştür. Burada ilginç diğer bir sonuç ise, spesifik aşınma oranları ile güç tüketimi arasında yakın ilişki olmasıdır. Cassapi (1987) farklı granitlerinin elmas kesici diskler ile kesilmesinde aşınma davranışlarını incelemiştir. En sert doğal taşın kesilmesinde aşınmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Jennings ve Wright (1989) yaptıkları çalışmada farklı doğal taş türlerinin elmas soketler ile kesilmesi işleminde aşınma ve güç tüketimini incelemişlerdir. Elmas soketin aşınmasına doğal taşın minerolojik özelliklerinin önemli

rol oynadığı ve doğal taş sertliğinin artması ile kesme işleminin zorlaştığı belirlenmiştir. Güç tüketiminin doğal taşın sertliği ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür.

Al-Ameen ve Waller (1992) yaptıkları çalışmada doğal taşın kesilmesi esnasında elmas kesici uç için farklı bir aşınma modeli önermişlerdir. Modelden görülmüştür ki, elmas tane boyutu büyüdükçe aşınmayla birlikte elmas kaybı daha az olmuştur.

Granit taşın sinterlenmiş elmas soketler ile kesilmesi esnasındaki aşınma özellikleri SEM, optik mikroskop ve X-ışınları analizi ile incelenmiştir (Liao ve Luo 1992). Luo ve Liao (1993) yaptıkları çalışmada elmas tanecik aşınması üzerinde tanecik özelliklerinin etkisini incelemişlerdir. Kesme alanının artmasıyla düzleşmiş elmas taneciklerinde artış görülürken, yeni elmas taneciklerinde ise belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte, kesme alanının artması elmas dökülmesini önemli ölçüde artırırken, kırılmış elmas tanecikleri hemen hemen aynı seviyede kalmıştır. Deneysel esnasında, yeni elmas, elmas düzleşmesi, elmas tanecik kırılması (makro ve mikro) ve elmas dökülmesi gibi aşınma türleri görülmüştür. Metal matrisin aşınması ise, elmas taneciğinin önünde meydana gelen erozif aşınma ile gerçekleşmiştir.

Tian ve Tian (1994) yaptıkları çalışmada doğal taşların elmas kesiciler ile delme işlemindeki aşınma mekanizmasını incelemişlerdir. Elmas ile doğal taş arasındaki sürtünme katsayısının 0,005 ile 0,5 arasında değiştiği görülmüştür. Elmas kesici takımın aşınma özellikleri işleme parametreleri, yapısı ve malzeme özelliklerine bağlı olarak artmıştır.

Luo ve Liao (1995) yaptıkları çalışmada farklı elmas kesici diskler ile granit kesme işleminde elmas soketlerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada, aşağı ve yukarı kesme modları ele alınmıştır. Yukarı kesme işlemindeki kuvvetler, aşağı kesme işlemine göre daha küçük elde edilmiştir. Elmas soket yüzeylerinin incelenmesinde en fazla kırılmış elmas tanecikleri görülmüş, ayrıca önemli oranda elmas dökülmesi meydana gelmiştir. Aşağı kesme modu ile kesme işlemi yapan kesici diskin her bir ilerlemesinde daha büyük talaş kaldırmaktadır. Yukarı kesme modunda ise daha küçük yüzeyi kesmektedir. Bu durum hem kesme kuvvetlerinin düşmesine hem de elmas

tanecik kırılmaların azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, düşük kesme kuvvetleri her zaman en iyi elmas soket performansını vermektedir. Büyük elmas tanecikleri elmas soket üzerine etki eden kuvvetleri düşürmektedir. Bununla birlikte, Luo (1997) elmas kesici diskin optimum performansını elde etmek için elmas tanecik kırılması ve dökülmesinin doğru yöntemler ile tespit edilmesini önermiştir.

Karagöz ve Zeren (2002) yaptıkları çalışmada Co, Ni ve Cu-Sn tozlarla farklı matriks bileşimine sahip elmas soketlerin aşınma karakteristiği incelenmiştir. Elmas soketlerde etkin aşınma türünün abraziv aşınma olduğunu vurgulamıştır. Elmas soketin kullanılması ile birlikte elmas tanecik önlerinde oluşan kanallar daha sağlıklı bir kesme işlemi yapılmasını sağlamıştır.

Elmas kesici diskler ile kesme işleminde soket matriks bileşiminin yanında elmas taneciklerinin kalitesi ve mukavemeti kesme işlemini belirleyen önemli faktörlerdendir. Liu vd. (2003) yaptıkları çalışmada elmas taneciklerinin darbe mukavemetini belirlemek için yeni sistem tasarlamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, ortalama elmas tane çapının azalmasıyla statik ve darbe mukavemetinin arttığı görülmüştür.

Denkena vd. (2003) yaptıkları çalışmada elmas soket üzerinde meydana gelen hasarların işleme parametreleri, iş parçası malzemesi, makine durumu, kesici disk ve elmas soket özelliklerine bağlı olarak değiştiğini vurgulamışlardır. Soket üzerindeki elmas taneciklerde meydana gelen aşınma türleri normal kuvvetlerin belirlenmesinde önemli rol oynamamıştır. Maksimum kuvvetler düzleşmiş elmas taneciklerde meydana gelirken, kırılmış elmas taneciklerinde ise daha az kuvvetler meydana gelmiştir.

Xu vd. (2003) elmas kesici diskler ile kesme işleminde soket ve granit yüzeyini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, üç farklı granit türü kullanılmış olup, granit yapısının yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada ise elmas soketler ile yüzey işleme durumunda granit yüzeyi XRD analizi ile incelenmiştir (Huang and Xu, 2003).

Eyüboğlu vd. (2003) yaptıkları çalışmada Ankara andesitinin kesici disk ile kesilmesi esnasında elmas soketin aşınmasını istatistiksel ve mikroskopik olarak incelemiştir. Deneysel olarak ölçölen aşınma oranları istatistiksel bir yaklaşım ile karşılaştırılmış ve birbiri ile yakın değerler elde edildiği görölmüştür. Deneyler sonucunda yeni elmas, yüzey parlaması, elmas dökölmesi ve kırılmış elmas tanecikleri gibi üç farklı aşınma durumu gözlenmiştir.

Di Ilio ve Tonga (2003) doğal taş kesme işlemindeki elmas soketlere yeni bir teorik aşınma modeli önermişlerdir. Analitik model aşınmanın anlaşılması ve deneylerin optimum bir şekilde planlanması için uygulanmıştır. Çalışmada, eğer elmas taneciği ve matriksin aşınması aynı ise, sabit bir elmas tanecik yüksekliğinden söz edilmiştir. Burada, daha sert elmas soket matriksi ile birlikte düşük elmas konsantrasyonunun hızlı körelen bir kesici takıma yol açtığı vurgulanmıştır.

Yu ve Xu (2003) farklı elmas kesici diskler ile granitin kesilmesi esnasında elmas soketin aşınmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, farklı konsantrasyon ve matriks bileşimi olmak üzere 9 farklı elmas soket ele alınmıştır. Elmas soket konsantrasyonunun artması ile soket aşınmasının olumlu veya olumsuz şekilde etkilediği kesin olarak söylenememiştir. Normalde elmas konsantrasyonunun artması elmas tanecik üzerine gelen kuvvetleri azalttığından daha düşük aşınmanın meydana gelmesi beklenir. Fakat bu çalışmada, konsantrasyonun artması ile aşınma artmıştır. Bununla birlikte, elmas taneciklerinin hasar durumları optik mikroskopta incelenmiş ve soket yüzeyinde en fazla kırılmış büyük elmas taneciklerinin meydana geldiği görölmüştür.

Li vd. (2003) ise kobalt ve manganezin elmas soket sertliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kobalt kadar olmasa da manganezin de elmas soket sertliğini artırdığı görölmüştür. Polini ve Turchetta (2003) kuvvet ve ivme sensörleri ile doğal taşların kesme işleminde elmas kesici disk aşınmasını kontrol etmeye çalışmışlardır. Aşınmanın artmasıyla elmas tanecik yüksekliğinin azaldığı görölmüştür.

Elmas soketler ile kesme işleminde soket aşınmakta ve belirli bir çalışma süresinden sonra ömrünü tamamlamaktadır. Ömrünü tamamlayan soket lehimli bölgeden sökülerek atılmaktadır. Atılan soket içerisinde kullanılmamış elmas tanecikleri bulunmaktadır. Elmas tanecikleri, soketin maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Skury vd. (2004) yaptığı bir çalışmada doğal taş endüstrisinde kullanılmış bir diskteki elmas soketi inceleyerek, soket içerisindeki tanecikleri bir kimyasal bileşik (asit çözelti) ile ayırtmış ve bu taneciklerin endüstride tekrar kullanılmasını sağlamıştır. Çalışmada, aşınmış bir elmas soket içerisindeki taneciklerin yaklaşık %8'nin tekrar kullanılabilmesini kanıtlamışlardır. Diğer bir çalışma ile Denkena vd. (2004) doğal taş endüstrisinde kullanılan elmas kesiciler için bir araştırma yapmışlardır. Elmas tanecik yüksekliği ile işleme kuvvetleri arasında lineer bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Elmas tanecik yüksekliğinin azalmasının matriksin daha fazla aşınmasına sebep olduğu ve daha büyük kuvvetlere maruz kalan elmas taneciklerinde kırılmaların daha fazla olduğu görülmüştür.

Kahraman vd. (2004) yaptıkları çalışmada büyük çaplı dairesel testerelemler ile on üç farklı doğal taşın çoklu regrasyon analizlerini kullanarak kesilebilirlik tahminini yapmışlardır. Analiz sonuçlarından elde edilen model göstermektedir ki, doğal taşların kesilebilirliğine etkili olan en önemli parametreler, testere çapı, ilerleme oranı, kesme derinliği, çekme mukavemeti ve darbe mukavemetidir. Başka bir çalışmada, bu çalışmada kullanılan testere çaplarının farklı olması nedeniyle ve yeniden regresyon analizi yapılarak düzeltme yapmışlardır (Kahraman vd. 2006).

Fener vd. (2006) büyük çaplı dairesel testerelemlerin performansını ve karbonat doğal taşların bazı özelliklerini basit ve çoklu regrasyon analizleri kullanılarak değerlendirmişlerdir. Karbonat doğal taşların kesilmesinde mekanik özelliklerden kesilebilirlik tahmini yapmışlardır. Sonuçta, karbonat doğal taşların kesilebilirliği basit regrasyon denklemleri kullanılarak basma mukavemeti, çekme mukavemeti ve aşınma kaybı ile tahmin edilmiştir.

Kremshofer (2006) yaptığı çalışma ile elmas taneciğinin mukavemeti ve elmas konsantrasyonunun takım ömrüne önemli etkisinin olduğunu vurgulamıştır. Elmas

tanecik mukavemetinin artması ile kesici takım ömrünün arttığını belirlemiştir. Ayrıca, elmas konsantrasyonunun da artması ile elmas kesici takımın ömrünün de arttığını vurgulamıştır. Burada, tanecik yoğunluğunun artmasının elmas tanecik üzerine gelen kuvvetlerin azalmasına neden olduğunu belirtmiştir.

Soket matriksinde en çok tercih edilen element kobalttır. Kobalt elementi elmas soketin sertliğini artırdığından özellikle granit gibi sert doğal taşların kesilmesinde tercih edilmektedir. Unal (2007) yaptığı bir çalışmada soket matriksindeki kobalt oranını değiştirerek matriks sertliğine ve eğilme mukavemetine etkisini incelemiştir. Benzer bir çalışmada da Unal ve Gürcay (2007) elmas soketlerdeki aşınma oranının matriks bileşimine etkisini araştırmışlardır. Matriks içerisindeki kobalt oranının artmasının soket sertliğini artırdığı ve bunun sonucu olarak elmas soketteki aşınmanın daha az indiği görülmüştür.

Büyüksağış (2007) yaptığı çalışmada altı farklı doğal taş üzerinde aşağı ve yukarı kesme modlarını kullanarak yapılan kesme işleminde spesifik aşınma ve enerji tüketimini deneysel olarak incelemiştir. Çoklu lineer regrasyon analizi ile aşınma ve spesifik enerjinin belirlenmesinde doğal taşın minerolojik ve fiziko mekanik özellikleri çalışılmıştır. Spesifik enerji değerlerinin testerenin yüksek spesifik aşınma oranı ile ilişkili olduğu görülmüştür. Spesifik enerjinin artması ile spesifik aşınma oranı lineer bir şekilde artmıştır. Aşağı kesme modu ile elde edilen spesifik enerji değerleri, yukarı kesme işlemi ile elde edilen değerlerden daha büyük çıkmıştır.

Zhan vd. (2007) yaptıkları çalışmada granitin kesilmesinde kullanılan elmas kesici soketlerin aşınma davranışlarını deneysel olarak incelenmişlerdir. Soket yüzeyindeki elmas tanecikler mikroskopta incelenerek hasar durumları çıkartılmıştır ve elmas taneciklerde aşınma, düzleşme, büyük ve küçük kırılmalar, yeni ve elmas tanecik dökülmesi gibi hasarlar görülmüştür. Çalışmada en fazla elmas tanecik kırılmalarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, granit kesme hacmi arttıkça elmas tanecik yüksekliği önemli ölçüde düşerken teğetsel ve normal kuvvetler artmıştır.

2.3. Elmas Kesicilerin Kaplanması

Elmas kesici diskler ile yapılan kesme işlemlerinde doğal taş ile elmas tanecik arasında ısıl ve mekanik etkileşimler söz konusudur. Bu durumda elmas taneciği aşınmakta, kırılmakta veya dökülmektedir. Elmas taneciğinin bu gibi olumsuz durumlara maruz kalmaması için CVD ve PVD gibi kaplama yöntemleri ile kaplama yapılmaktadır. Böylece elmas taneciğinin hem ısıl ve mekanik yüklere karşı dayanımı artmış, hem de elmas taneciğin matriks içerisindeki tutunması artmıştır (May vd., 1994, Bachmann vd. 1994, Sung vd. 2007).

Elmas soketler üretilirken genellikle elektroliz kaplama veya sinterleme işlemine tabi tutulur. Sung'un (1999) yaptığı çalışmada sıradan yöntemlerden farklı olarak sert lehimlenmiş elmas soketin tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Çalışmasında, elektroliz kaplama, sinterleme ve sert lehimlenmiş elmas soketlerin kesme performansını karşılaştırmıştır. Sert lehimleme yapılmış elmas soketin özellikle yüksek kesme hızlarında diğerlerine göre daha yüksek ömürlü olduğu görülmüştür.

Wang vd. (2002) Ti kaplanmış elmas taneciklerinin özelliklerini incelemiştir. Ti kaplanmış elmas taneciklerinin kaplama yapılmamışa göre mukavemetinde %20 artış gözlenmiştir. Ayrıca, kaplama yapılarak elmas dökülmesi %60 oranından, %20 oranına kadar azalmıştır.

Xu vd. (2004) kaplamalı ve kaplamasız elmas soketleri incelemiştir. Kaplamasız elmas soketin diğerine göre daha fazla kuvvetlere maruz kaldığı görülmüştür. Ayrıca, elmas soketin kaplama yapılarak soket içerisinde daha fazla tutunduğu görülmüştür. Diğer bir çalışmada, Xu ve Yu (2005) yaptıkları çalışmada elmas taneciğinin Ti-Cr kaplanması ve kaplamasız taneciğin kesme performansı deneysel olarak incelenmiştir. Elmas taneciğinin Ti-Cr kaplanması ile daha kolay bir kesim yaptığı, kaplamanın etkisi ile spesifik aşınma miktarlarında da belirli bir azalma olduğu görülmüştür.

2.4. Elmas Soket Sıcaklığı

Elmas soketler ile doğal taş kesme işlemi esnasında soket ile taş arasında sürtünmelerden dolayı sıcaklık meydana gelmekte ve soket aşınması üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Literatüre baktığımızda elmas soketler üzerindeki sıcaklığın ölçülmesi ile ilgili önemli eksiklikler bulunmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda elmas soket üzerine etki eden sıcaklığı bulmak için kesilen doğal taş içersine termokupl yerleştirilmiştir. Bu termokupl sayesinde disk üzerine etki eden tepkisel sıcaklıklar ölçülmüştür. Çalışmalarda termokupl telinin elmas soketin temas bölgesine yaklaştırılmasına bağlı olarak önemli sıcaklık farklarının oluştuğu gözlenmiştir. Yapılan kuru kesme şartlarında sıcaklığın ortalama 80°C olduğu görülmüştür. Ayrıca, granitin sıg kesme işleminde elmas soket-doğal taş arasında meydana gelen sıcaklığı bir infrared teknolojisi kullanılarak belirlenmiş ve geliştirilen matematiksel model ile karşılaştırılmıştır (Xu ve Huang, 2003; Xu vd. 2003; Xu ve Huang; 2003). Tönshoff vd. (2003) ise elmas soket üzerindeki sıcaklığı termokupl ve telemetrik olarak adlandırılan veri alma teknolojisi ile gerçekleştirmişlerdir. Kesme oranının artması ile kesici takım üzerindeki sıcaklığın arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, kesme hızının elmas soket üzerindeki termal yüklerle doğrudan ilişkili olduğu ve 10-30 m/s arasındaki çevresel hızlar ile sıcaklık arasında bir bağlantının olmadığı vurgulanmıştır. Burada ilginç olan sonuç ise; suyun da etkisi ile elmas soket üzerindeki sıcaklığın kritik bir sıcaklığa erişmediğidir. Başka bir çalışmada da elmas kesici disklerin kuru kesilmesinde disk üzerinde meydana gelen sıcaklık termodinamik bir analiz ile incelenmiştir (Hu vd. 2003).

2.5. Elmas Kesicilerin Dinamik Davranışları

Elmas kesici disklerin mekanik davranışları yanında özellikle kesici disklerin dinamik davranışları kesme işlemini etkileyen önemli etkenlerden birisidir. Elmas kesici disklerin titreşim davranışları ile ilgili yapılan çalışmalarda Tönshoff ve Jendryschik (1985) bir analitik çözüm ile kesici diskin doğal frekans ve modlarını ve Uzun (2004) ANSYS programı ile farklı çevresel hızlarda ve flanş çaplarındaki kesici diskin dinamik

davranışları incelenmiştir. Jennings (1989) kesici diskin dinamik davranışlarından yola çıkarak 100dB altında çalışan bir testere tasarlamıştır.

Yapılan diğer çalışmalar ile elmas kesici diskin serbest ve zorlanmış titreşimdeki davranışları incelemiştir (Taşgetiren ve Ucun, 2004; Ucun ve Taşgetiren 2005). Hu vd. (2004) ise kesici diskte kesme esnasında oluşan titreşimin sönümlenmesi için özel bir testere tasarlamışlardır.

Wang vd. (2005) beton kesme işleminde gürültü ve titreşim ilişkilerini incelemiştir. Çevresel hız ve ilerleme hızının artması ile gürültünün de arttığı görülmüştür. Ayrıca, elmas kesici disklerde meydana gelen gürültü ve titreşimin değişik çalışma koşullarından oluştuğu görülmüştür. Li ve Xu (2006) ise ANSYS programı ile elmas kesici diskin doğal frekans ve mod şekillerini bulmuşlardır. Çalışmalarında, farklı çevresel hız ve kesici disk kalınlıkları ele alınmıştır.

Başka bir çalışmada; elmas kesici disk üzerine açılmış olan deliklerin doğal frekans ve modlara etkisi incelenmiştir (Hu vd. 2008). Özbek (2008) ise çalışmasında lazer ölçüm cihazı (KEYENCE) ile mermer kesme işleminde kesici diskin yanal deplasmanlarını ölçmüştür. Farklı kesme parametreleri dikkate alınarak yapılan çalışmada, birim zamanda kesilen doğal taş miktarları göz önüne alınmıştır. Sonuçta testerenin doğal taş ilk temas anında büyük deplasman değerleri ortaya çıkarken testerenin doğal taş içerisinde ilerlemesi ile birlikte deplasman değerleri düşme eğilimi göstermiştir. Ayrıca, birim zamanda kesilen miktarın artması ile birlikte hem yanal kuvvetlerin hem de yanal deplasman değerlerinin belirli miktar arttığı görülmüştür.

2.6. Elmas Boncuklu Kesiciler

Literatüre baktığımızda çalışmaların büyük bölümü her ne kadar elmas kesici diskler üzerine olsa da, kesme amaçlı olarak kullanılan elmas kesici teller ile ilgili önemli çalışmalar bulunmaktadır. Elmas kesici teller doğal taşların kesilmesi yanında özellikle baraj, bina gibi beton yapıların kesilmesinde genişçe kullanılmıştır (Asperti ve Schotte 1987, Beckman ve Hulick 1991).

Biasco (1993) yaptığı çalışmada doğal taş madeninde doğal taş kesme işleminde yaptığı testlerde elmas boncuğun yapısına bağlı olarak farklı türlerdeki sert doğal taşların kesilmesi esnasında kesme hızı ve elmas ömürlerini belirlemiştir. Çalışmada bonz, bronz-kobalt ve demir-kobalt bileşimli elmas boncuklar kullanılmıştır. En düşük elmas ömrü kesme hızının çok düşük olmasına rağmen, demir-kobalt bileşiminde elde edilmiştir. En büyük elmas ömrü ise, kesme hızının en yüksek olduğu bronz bileşimli elmas boncukta elde edilmiştir. Burada, elmas boncukların ömürlerinin belirlenmesinde doğal taş türü, kesme hızı ve özellikle elmas boncuk bileşiminin önemli olduğu görülmüştür.

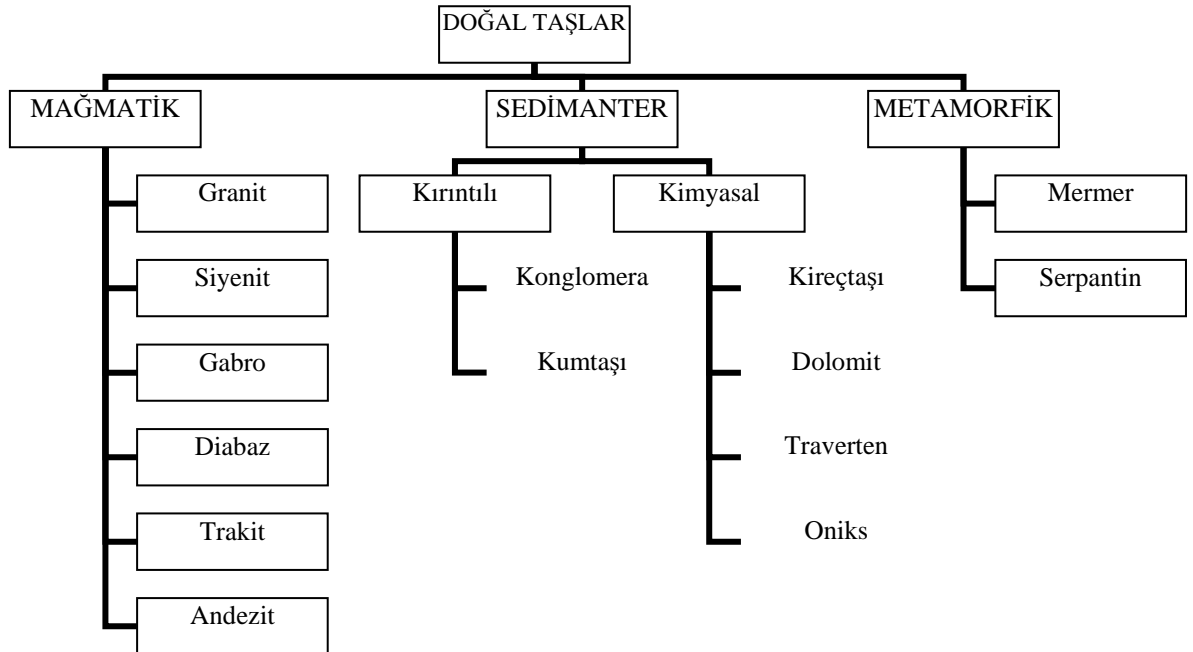
Kesme hızının artması ile zamana bağlı olarak kesilen alan da önemli ölçüde artmaktadır. Büyük talaş kaldırma oranlarının artması teğetsel kuvvetlerin artışına neden olmaktadır. Elmas boncuklarının en fazla düzleştiği ve elmas tanecik kopmasının çok az olduğu görülmüştür (Tönshoff vd. 2001). Elmas kesici teller ile yapılan çalışmalar genellikle çelik tel üzerine sıralanan elmas kesici boncukların aşınma türleri ve kesme kapasitesi üzerine olmuştur (Tönshoff ve Hillmann-Apmann 2002, Özçelik ve Bayram 2004).

Bununla birlikte, Filgueira ve Pinatti (2003) yaptıkları çalışmada, toz metalürjisi üretim tekniği ile süper iletken bir telin yapımında “in situ” olarak adlandırılan elmas boncukların üretilmesine alternatif bir metod sunmuşlardır. 4,68 mm boyutunda hacimce %15 Nb olan bir bakır telin etrafına %4 bronz içeren elmas dış telle çevrilmiştir. Sonuçta, bronzun aşınma direnci zayıf olduğundan W-Co ve Fe-Co alaşımlarının elmas ile birlikte kullanılabilceği görülmüştür. Diğer taraftan, elmas kristallerinden dolayı bronz ve elmas arasındaki bağın çok zayıf olduğu görülmüştür. Wang vd. (2003) elmas kesici telin hızına bağlı olarak talaş kaldırma oranını incelemiştir. Liu vd. (2004) yaptıkları çalışmada elmas kesici teller ile kesme işlemini analitik bir çalışma ile incelemiştir.

2.7. Doğal Taşlar

Elmas kesici diskler ile kesme işleminde doğal taş türü kesici disk performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Günümüz endüstrisinde çok değişik doğal taşlar kullanılmaktadır. TS 699 standardına da bağlı olarak doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması Şekil 2.1’de verilmiştir.

Doğal taşlar tek bir mineralden oluşabildikleri gibi birkaç mineral veya mineral grubundan da oluşabilmektedir. Bu minerallerin türleri, tane boyutları, tanelerin dokusal ilişkileri ve kompozisyonları ile ilgili tanımlamalar petrografik analiz ile mümkün olabilmektedir. Minerolojik analiz ile doğal taş içerisindeki sert mineraller ve kuvars miktarları bulunabilmektedir. Kuvars, bir doğal taşın kesilmesinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Kuvars miktarının artmasıyla kesme işlemi zorlaşacaktır. Bununla birlikte, doğal taşın tane boyutunun büyümesi ile kesici disk kesme esnasında daha fazla zorlanacaktır. Özellikle Mohs sertliği 6 ve üstü olan tüm mineral ve mineral grupları büyük aşındırıcı özelliğe sahiptirler (Dinç 1995; Eyüboğlu 2000). Doğal taşlardaki yapısal ve minerolojik özellikler doğal taşların sınıflanmasına yardımcı olmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Doğal taşların oluşumuna göre sınıflandırılması (Büyüksağış ve Gürcan, 2005).

Doğal taşların mekanik özellikleri ise, elmas kesiciler ile kesme işleminde kesme performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Mekanik zellikler, TS 699 ve ISRM standartları ile belirlenir. Bir kayaçtaki mekanik özellikler tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı, shore sertliği, schmidt sertliği, elastisite modülü, Los Angeles aşınma dayanımı ve böhme yüzey aşınma dayanımıdır (zelik 1999). Bununla birlikte, doğal taşların su emme, yoğunluk, porozite ve doluluk oranı gibi özelliklerini belirlemek için değişik fiziksel analizler yapılır (Atıcı 1999).

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Doğal Taş Endüstrisinde Kullanılan Makineler

Günümüze kadar sürekli gelişim içerisinde olan makineler endüstride doğal taşların kesilmesi ve parlatılmasında kullanılmaktadır. Endüstride, doğal taşın ocaktan çıkarılmasıyla kullanıcıya kadar bir dizi işlemden geçmektedir. Bu işlemlerde değişik makinelerden yararlanılmaktadır.

3.1.1. S/T Blok Kesme Makinesi

Ocaklardan büyük bloklar halinde çıkartılan doğal taş, işleme fabrikalarına taşınarak buralarda kullanıma hazır hale getirilmektedir. S/T blok kesme makinesi büyük kütlelerdeki doğal taşların belirli boyutlarda dilimlenmesi ve bloktan ayrılması için kullanılmaktadır. S/T blok kesme makinelerinde kullanılan S/T (este) ifadesi streeping (dilimleme) ve trimming (ayırılma) ifadelerinden gelmektedir. Endüstride iki ve dört sütunlu olmak üzere iki çeşit blok kesme makinesi kullanılmaktadır. Resim 3.1'de dört sütunlu S/T blok kesme makinesi gösterilmiştir. Blok kesme makineleri kesme esnasında daha az titreşim ve gürültü olması için ayaklardan yere sabitlenmektedir. Dört ayaklı blok kesme makinelerinde ileri-geri ve sağa-sola hareketler kolonlar üzerine yerleştirilen kremayer dişli sistemine bağlı olan DC kontrollü motorlar ile otomatik olarak sağlanmaktadır. İki ayaklı blok kesme makinesinde ise, sadece testere başlığı ileri-geri hareket etmektedir. Sağa-sola hareketi ise, bloğun yerleştirildiği tabla yardımıyla sağlanmaktadır. Resim 3.1 b'de iki sütunlu blok kesme makinesi verilmiştir.

Blok kesme makinelerine yatay ve dikey olmak üzere iki farklı kesici bağlanmaktadır. Yarım işlemi yapan kesici disk daha büyük çaplı, ayırma işlemi yapan kesici disk ise daha küçük çaplı olmaktadır. Dilimleme için genellikle 900-1700 mm çaplı testereler kullanılırken, ayırma için ise çapları 300-600 mm olan küçük yatay testereler tercih edilmektedir. Blok kesme makinelerine dikey olarak bir adet disk bağlanabildiği gibi fazla sayıdaki plakayı bir kesimde çıkarmak için çok sayıda elmas diskler yan yanada bağlanabilmektedir.



Resim 3.1 S/T blok kesme makineleri a) Dört sütunlu b) İki sütunlu.

3.1.2. Baş Kesme-Ebatlama Makineleri

Bu tür makineler genellikle S/T makinelerden alınan kenarları düzgün olmayan plakaların düzeltilmesinde kullanılır. Resim 3.2'de baş kesme ve çoklu ebatlama makinesi verilmiştir. Baş kesme makinesinde motordan hareket alan tek bir kesici disk ile kesme işlemi sağlanmaktadır. Kesme esnasında doğal taş tabla üzerinde sabit durup, disk ileri-geri hareket etmektedir. Çoklu ebatlama makinelerinde ise, en fazla 8 adet yan yana bağlanmış disk ile büyük bir doğal taş ebatlanmaktadır. Disk aralıkları istenilen ölçüde ayarlandığından istenilen ölçülerde ebatlama yapılabilmektedir.



Resim 3.2 a) Baş kesme makinesi, b) Çoklu ebatlama makinesi.

3.1.3. Katrak Makinesi

Katraklar, diğer kesme makinelerine göre farklı şekilde çalışmaktadır. Katraklar, belirli sayıdaki kesici lamanın yan yana bağlanması ve ileri geri hareketi ile kesme işlemini

gerçekleştirmektedir. Kesme işlemini lamaların uç kısımlarına belirli aralıklarda kaynatılmış elmas soketler yapmaktadır. Bazı doğal taşların kesilmesinde elmas soket yerine, kesme işlemini kesme esnasında ortama gönderilen aşındırıcı granüller yapmaktadır. Belirli bir motordan hareket alan volan ucuna bağlanmış eksantrik bir kol vasıtasıyla ileri-geri hareketi ile kesme işlemi sağlanmaktadır. Katraklarda, yan yana 15 ile 120 adet arasında kesici lama bağlanabilmektedir. Katrak lamaları, kesme esnasında esnememesi için gerdirilmektedir. Katraklar da, ileri-geri hareketinin yanı sıra belirli bir hızla aşağı inerek kesme işlemini sağlamaktadır. Kesme derinliğini sağlayan bu ilerleme miktarı özel dişli sistemi ve DC motorlar ile sağlanmaktadır. Resim 3.3’de bir katrak makinesi gösterilmiştir. Doğal taş endüstrisinde çalışma prensibine bağlı olarak iki tip katrak kullanılmaktadır. Katraklarda ileri geri hareketi ya doğal taşın konulduğu vagon ile sağlanmakta ya da katrak lamaların sıra ile bağlandığı kasa ile gerçekleştirilmektedir. Endüstride en çok kullanılan modeli ise doğal taşın vagon üzerinde sabit durup, lamaların ileri-geri hareketi yaptığı durumdur.



Resim 3.3 Katrak makinesi.

3.1.4. Düşey ve Yatay Yarma Makinesi

S/T blok kesme makinesinden alınan ve kalınlığı 15-20 cm olan kütük parçaların kalınlıklarını 1-2 cm olan plakalar haline getirilmesinde düşey yarma makinesi kullanılır. Bu makinelerde 5 ile 10 arasında kesici disk kullanılmakta ve bu disklerin çapları 600 ile 900 mm arasında değişmektedir. Düşey yarma makinelerinde çapları değişken olarak sıra ile kesici diskler bağlanır. Kesilecek olan kütük ilk olarak küçük çaplı testere ile belirli kalınlıkta kesimi yapılır, kalan derinlik ise biraz daha büyük çaplı testere ile sağlanır. Bir plakanın tamamen dilimlenmesi 3 veya 4 adımda ve farklı

çaplardaki testereler ile kademeli olarak gerçekleştirilir. Resim 3.4’de yatay yarma makinesi gösterilmiştir.



Resim 3.4 Yatay yarma makinesi.

3.1.5. Monolama Makinesi

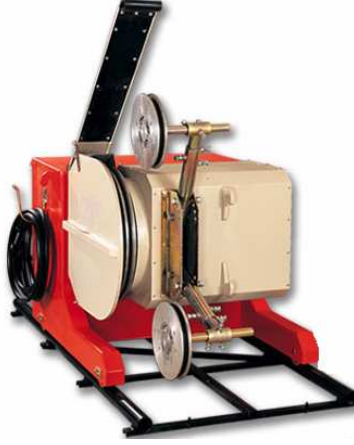
Monolama makinelerinde de katarlar gibi lamalar ile kesme işlemi gerçekleştirilir. Kesme işleminde sadece tek tip elmas soketli lamalar kullanılır. Monolama makineleri, büyük blokların küçük bloklara ayrılmasında veya kenar yüzeyleri bozuk blokları düzeltmek amacıyla tercih edilir. Resim 3.5’de bir monolama makinesi verilmiştir. Monolama makinelerinde kullanılan lamalar özel bir dişli sistemi yardımı ile senkronizeli olarak ileri-geri hareketi ile kesme işlemi gerçekleştirilir. Kesme işlemi gerçekleştirilen lamanın aşağı-yukarı hareketi motor ve dişli mekanizması ile otomatik olarak sağlanmaktadır. Monolama makinelerinde lama kullanıldığı gibi, makinenin çalışma prensibi değiştirilerek elmas teller de kullanılabilir.



Resim 3.5 Monolama makinesi.

3.1.6. Elmas Boncuklu Teller ile Kesme

Doğal taşlar ocaklardan büyük bloklar halinde çıkarılmakta ve fabrikada istenilen ölçülerde plakalar haline getirilmektedir. Mermer, granit, traverten gibi doğal taşların ocaklardan bloklar halinde çıkarılmasında elmas telli kesme makineleri kullanılmaktadır. Elmas tel kesme ve sayalama (mini tel kesme) makineleri tel kesme için kullanılan makinelerdir. Elmas tel kesme makinelerinde kullanılan kesiciler çelik tel üzerine birbiri ardına sıralanmış elmas boncuklardır. Elmas tel kesme makinesi üzerinde motor, volan, gergi makaraları ve hareket motoru bulunmaktadır (Resim 3.6). Tel kesme makinesi iki adet ray üzerinde hareket etmektedir.



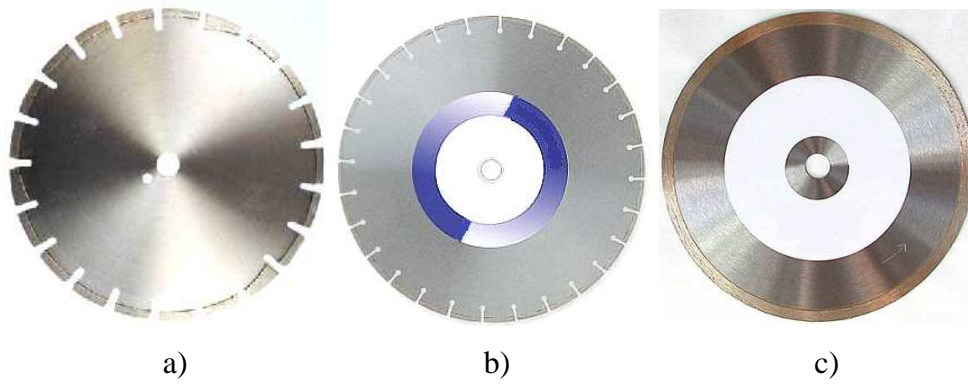
Resim 3.6 Tel kesme makinesi

3.2. Kesici Disk ve Elmas Soketler

3.2.1. Kesici Diskler

Mermer, granit, beton, asfalt, traverten gibi malzemelerin kesilmesinde kullanılan kesici diskler 200 ile 5000 mm arasında değişen çaplarda imal edilmektedir. Kesici disklerin çapları yapılacak olan işe ve makineye bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; S/T adı verilen blok kesme makinelerinde daha büyük çaplı testereler kullanılmasına rağmen, baş kesme makinelerinde daha küçük testereler kullanılmaktadır. Testereler, farklı geometrik biçimlerde üretilmektedir. Günümüz doğal taş endüstrisinde genellikle standart kanallı, dar kanallı ve sürekli kesici disk olmak üzere üç farklı kesici disk

kullanılmaktadır. Resim 3.7’de farklı elmas kesici diskler verilmiştir. Standart kanallı kesici diskler, yüksek kesme hızının istendiği mermer, granit ve traverten gibi doğal taşların kesilmesinde kullanılır. Dar kanallı kesici diskler, standart kanallıya göre daha iyi yüzey kalitesi elde etmek amacıyla kullanılır. Sürekli disklerin, üzerinde hiçbir kanal bulunmamakta ve çevresi belirli bir kalınlıktaki elmas soketler ile kaplanmış durumdadır. Bu gibi diskler ile çok hassas kesme yüzeylerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır ve sığ kesme koşullarına daha uygundur. Bunlarla birlikte, kesici disk üreten firmalar yüksek kesme hızı, yüksek verim, düşük gürültü gibi değişen amaçları yerine getirmek için farklı kesici diskler üretilmektedir. Kesici diskler, çapa bağlı olarak 150 ile 6000 dev/dk arasında değişen çevresel hızlarda çalışmaktadır. Artan disk çapı ile çevresel hız azalmakta buna karşılık disk kalınlığı artmaktadır. Ayrıca, disk çapı ile diş sayısı doğru orantılı olarak artmaktadır.



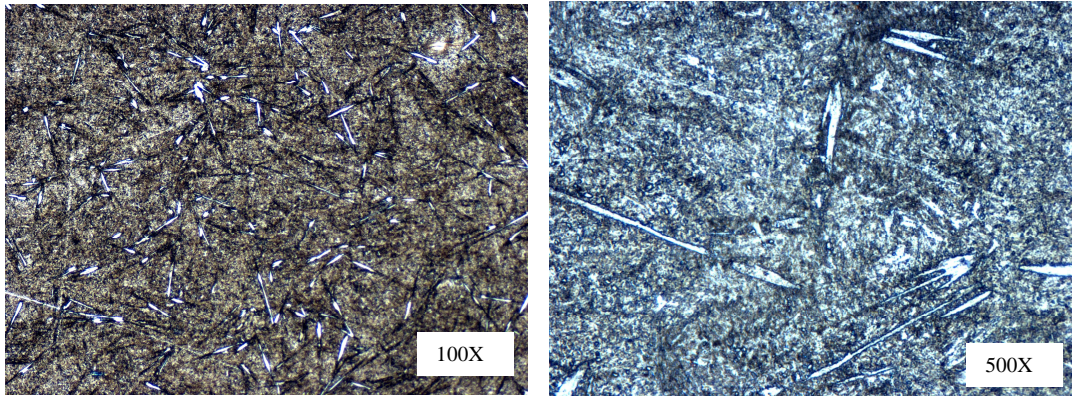
Resim 3.7 Elmas kesici diskler a) Standart kanallı, b) Dar kanallı, c) Sürekli kesici disk.

Kesici diskler genellikle 75Cr1(AISI 1075) ve 80CrV2 gibi alaşımlı çeliklerden imal edilmektedir. Örnek alınan bir kesici diskin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Kesici disk gövdesi imal edildikten sonra delik ve diş profilleri hassas olarak lazer ile oluşturulmaktadır. Kesici disklerin sertlikleri ve ısıl işleminden sonra yaklaşık 43-45 HRC arasında değişmektedir (Tönshoff vd. 2002).

Çizelge 3.1 Kesici diskin malzeme kompozisyonu (ağırlıkça %) (Ucun vd. 2008).

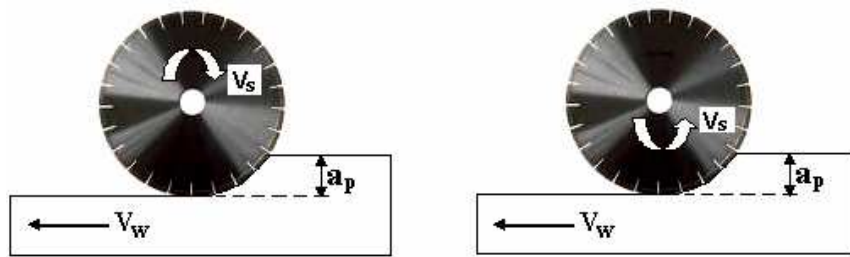
C	Si	Mn	Cr	P	Mo	Al	S	B
0.771	0.201	0.69	0.241	0.017	0.027	0.003	0.004	0.0032

Çevresel hız ve kuvvetlerin etkisiyle disk yüzeyinde gerilmeler meydana gelmektedir. Bu gerilmeler disk üzerinde çatlaklar oluşturabilmektedir. Disk üzerindeki gerilmelerin etkisiyle oluşabilecek hasarları asgari seviyeye indirebilmek için ısıtım işlem uygulanmaktadır. Şekil 3.1’de kesici diskin mikro yapısı gösterilmiştir. Diskin, beynit + martenzit bir yapıda olduğu görülmektedir. İnce uzun yapılar martenzit lathlarını ifade etmekte ve bu yapının uç kısımlarının yuvarlak görünmesi ise ısıtım işlem geçirdiğini göstermektedir.



Şekil 3.1 Kesici diskin mikro yapısı.

Kesici diskler ile kesme işlemi aşağı ve yukarı kesme olarak iki şekilde gerçekleştirilir. Aşağı ve yukarı kesme modları ile yapılan işlemlerde diskin dönüş yönü veya doğal taşın ilerleme yönü değişmektedir. Aşağı kesme modunda, kesici disk parçaya aşağı yönde baskı uygularken, yukarı kesme modunda ise parçayı yukarı doğru kaldırmaya çalışmaktadır. Şekil 3.2’de dairesel kesici diskler ile yapılan kesme işlemindeki modlar gösterilmiştir. Doğal taş endüstrisinde genel olarak aşağı kesme modu en çok tercih edilen kesme işlemidir.



Aşağı kesme modu (Down-cutting)

Yukarı kesme modu (Up-cutting)

Şekil 3.2 Dairesel kesici diskler ile kesme modları.

Kesme işlemi sırasında kesilen parçacıklarının ortamdaki uzaklaştırılması ve elmas soket yüzeyinde meydana gelebilecek ısıyı önlemek için soğutma sıvısı olarak genellikle su kullanılmaktadır. Su debisi ve suyun kesme ortamına gönderme şekli kesici diskin performansını etkileyebilmektedir. Ayrıca, kesici disk çapının artmasıyla birim zamanda harcadığı su miktarı da önemli ölçüde artmaktadır.

3.2.2. Elmas Soketler

Doğal taş kesme endüstrisinde asıl kesme işlemini sağlayan elmas soketlerdir. Elmas soketler, kesici diskin çapına ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik geometri ve özelliklerde imal edilir. Elmas soket özelliklerinin belirlenmesinde, kesme parametreleri ve kesilecek olan doğal taşın minerolojik ve fiziko mekanik özelliklerinin etkisi önemlidir. Elmas soketler, dairesel testerelerde kullanıldığı gibi katrak lamalarında da tercih edilmektedir. Soketlerin üretimi farklı metal tozları ve 500µm-50µm boyutlarındaki elmas taneciklerinin karıştırılarak, preslenmesi ve sinterleme işlemlerini kapsamaktadır. Resim 3.8’de kesici disk ve üzerine kaynatılmış bir elmas soket gösterilmiştir.



Resim 3.8 Elmas soketli kesici bir disk.



Resim 3.9 Elmas soket tipleri.

Endüstride en çok dikdörtgen kesitli elmas soketler tercih edilmektedir. Fakat kesme ortamına daha fazla suyun gelmesi ve oluşan talaşın ortamdan kısa sürede uzaklaştırılması için değişik kanallı soketler de kullanılmaktadır. Resim 3.9'da farklı elmas soket tipleri verilmiştir.

Elmas soketler, matriks ve elmas taneciği olmak üzere iki parçadan meydana gelmektedir. Matriks, soket geometrisini oluşturmakta ve elmas taneciklerinin tutulmasını sağlamaktadır. Elmas tanecikleri ise, kesme veya öğütme işlemini gerçekleştirmektedir.

Elmas soket matriksi elmasları bir arada tutan bir bağlantı evresi ve sinterleme koşullarında gözenekleri kapatmaya yarayan ve kesme koşullarında hızlı aşınarak talaş akma kanallarını oluşturan bir dolgu evresinden meydana gelmektedir. Bağlantı evresi için iyi ıslatan (elmas taneciklerini tutan) Co, Ni, Cu, Fe veya bunların kombinasyonlarından faydalanılır (Karagöz ve Zeren 2001). Başarılı bir elmas soket tasarımı için nitelikli metal tozlarının kullanılması gerekmektedir. Dolgu evresi için genellikle Cu-Sn kullanılır (Karagöz ve Zeren 2001, Zeren ve Karagöz 2006). Ana ve bağlayıcı fazların oluşturulması, kesilecek olan doğal taşın özelliklerine, kesme parametrelerine ve kesme koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

Elmas soketlerin üretilmesi esnasında sinterleme koşullarında bir reaksiyon oluşur ve bu reaksiyon elmas soketin ömrünü belirler. Bu bağ metal tozlarının bileşimine, partikül boyutuna ve dağılımına, sinterleme sıcaklığına, sürecine, basıncına ve gaz ortamın koruyucu etkisine bağlıdır. Elmaslı kesici takımın başarılı bir şekilde sinterlenmesini engelleyen en önemli etken yüzeysel oksitlerdir. Toz yüzeyindeki oksit filmleri sinterleme reaksiyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Elmas tanecikleri, soket matriks içerisine değişik boyutlarda ve konsantrasyonlarda katılmaktadır. Sinterlenme sıcaklığının 1000°C üzerine çıkması durumunda elmas taneciklerinin yapısı bozulabilmektedir. Elmaslar genellikle doğal ve yapay olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. Doğal olarak çıkartılan elmasların büyük bir bölümü aşındırıcı olarak endüstride kullanılmaktadır. Doğal elmaslar, sarı, kırmızı, kahverengi, mavi veya yeşil

renkte olabilir. Renk ve parlaklıklarından dolayı işlenmiş saf elmaslar pırlantalar olarak düşünülmemekte ve çıkarılan elmasın sadece %5'ini kapsamaktadır (Zeren 1999).

Doğal elmaslar volkanik etkiler sonucu yüksek basınç ve sıcaklık altında oluşmaktadır. Volkandaki lavların soğuması ile gazların büyük bir kısmı açığa çıkmakta ve boşluklar meydana gelmektedir. Eğer boşluklarda CO₂ gazı varsa ve ağırlığı dolayısıyla kaçamamışsa, bu durumda bileşimindeki oksijen iç yüzey kısımlarını okside ederek ayrılır. Bunun sonucu olarak karbon açığa çıkmak suretiyle, yüksek ısı ve basıncın etkisiyle kristalleşir ve elmas halini alır (Atıcı 1999). Doğadan saf olarak çıkartılan elmasların istenilen geometrilerde olmaması, endüstrideki uygulamaları sentetik elmasa yönlendirmiş ve günümüzde özellikle kesici takım teknolojisinde en çok kullanılan elmas çeşidi haline gelmiştir.

Sentetik elmas 1957 yılından günümüze kadar ticari olarak yüksek basınç altında üretilmektedir. 2004 yılında dünyada 4 milyon karat (800 ton) sentetik elmas üretilmiştir (Sung 2007, Sung vd. 2007). Sentetik elmas, yüksek basınç ve sıcaklık altında grafitin elmasa dönüştürülmesi ile elde edilir. Grafit, 3000°C ve 150.000 atm basınçta veya 800°C ve 350.000 atm basınç altında elmasa dönüşmektedir. Havada ısıtılması sonucu elmas 800°C nin üzerinde yumuşayarak çözünmekte ve oksijenin etkisiyle bir parlama sonucu CO₂ e dönüşmektedir. Günümüzde üretilen sentetik elmaslar 3 µm ile 3 mm arasında değişmektedir (Zeren 1999). Doğal elmas ve grafit kristal yapı olarak birbirinden farklılık göstermektedir. Fakat çok sert olan elmastan daha yumuşak olan grafitin birkaç işlemde sonra elmasa dönüşümü sağlanmaktadır. Elmasın yoğunluğu 3.52 g/cm³, grafitin yoğunluğu ise 2.25 g/cm³ dir. Elmas, iyi ısı iletkenliği, yüksek sertliği, iyi elektriksel iletkenlikleri gibi özellikleri ile endüstride genişçe kullanılır. Doğal elmaslar tek kristalli olmasına rağmen, sentetik elmas tek ve çok kristalli olabilmektedir.

Endüstride aşındırıcı olarak De Beers, General elektrik gibi şirketlerin ürettikleri elmaslar kullanılmaktadır. SDA100+ ve SDA100 kalitelerinde elmas tanecikleri sert ve kesme oranı yüksek parçaların kesilmesinde tercih edilir. SDA85+ ve SDA85 ise daha genel malzemelerin kesilmesinde kullanılır. SDA yapılı elmas taneciklerinin kristal

yapıları kübik oktahedraldir. Bu kristal yapıya sahip elmas tanecikleri yüksek mukavemet ve dayanıma sahiptir. Ayrıca, çok fazla kullanım alanı olmasa da, MDA serisi kalitesindeki elmas tanecikleri de üretilmektedir. Bu tanecikler SDA ne benzer özellikler taşımaktadır ve 60US Mesh'den daha küçük boyutlarda bulunurlar. Bu kalitedeki elmas tanecikleri ince yüzey işlemleri için gerekli olan taşlama ve öğütme işlemlerinde tercih edilir (Brook 2002; Büyüksağış 1998).

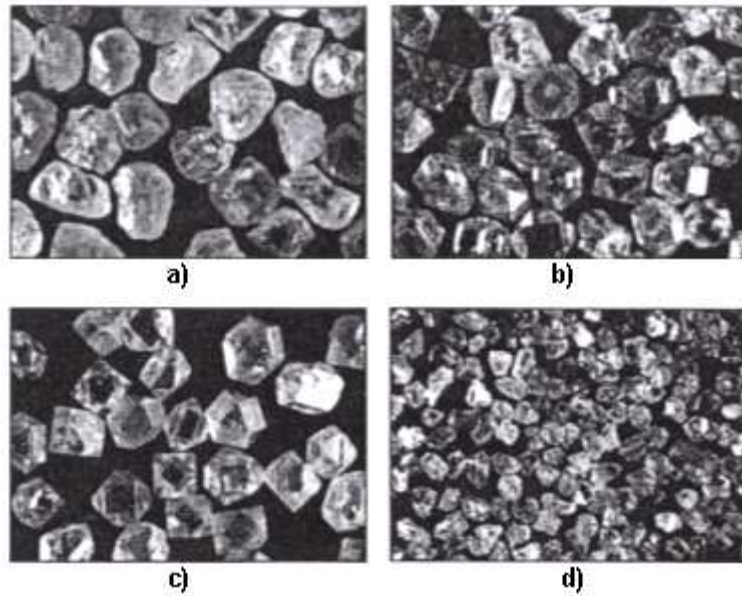
Bazı doğal taşlar için kullanılan elmas tane boyutları (Konsanty 1991; Konstanty 2003):

40/50 US Mesh- Granit, bazalt gibi sertlikleri yüksek kayalar için,

30/40 US Mesh- Mermer gibi orta sertlikteki kayalar için,

20/30 US Mesh- Kumtaşı, limestone gibi daha yumuşak kayalar için kullanılır.

Doğal elmaslar sentetik elmaslara göre daha keskin kesme uçları ve yüksek ısı kararlılık gibi birçok avantajları bulunmaktadır. EMB ve EMBS belirli bir biçimi yoktur ve 60 US Mesh den daha büyük ölçüleri kapsar. EDC ise EMB ye benzer davranışlar gösterir ve kırılarak üretilir (Jennings ve Wright 1989). Resim 3.10'da sentetik ve doğal elmas tanecikleri verilmiştir. Sentetik elmasların belirli bir kristal yapıya sahip olduğu, fakat doğal elmasların ise belirli bir kristal yapıya sahip olmadığı görülmektedir.

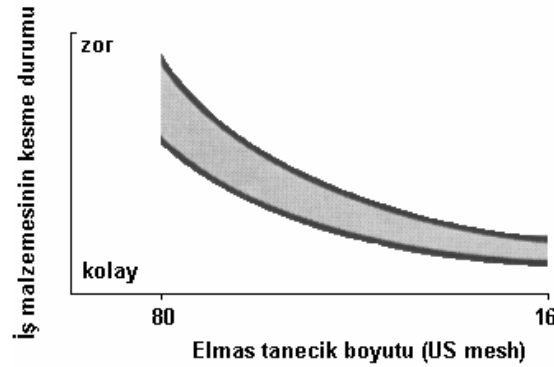


Resim 3.10 De Beers in kesici takımlar için ürettiği elmas tanecikleri a)EMB (doğal elmas), b) SDA100+, c) SDA+, d) EDC (doğal elmas) (Jennings ve Wright 1989).

Kesme esnasında elmas soket ve kayaç arasında meydana gelen sürtünmeden dolayı matriks yüzeyinde aşınmalar meydana gelmektedir. Sürtünme esnasında matriks yüzeyinde aşınmanın etkisiyle kanallar oluşurken, elmas tanecikleri de kesme işlemini gerçekleştirmekte daha sonra sürtünme ve kuvvetlerin etkisiyle kesme özelliğini belirli bir çalışma sonrasında yitirmektedir.

Kesme işleminde matriks ve elmas tanecik aşınmasının optimum olması istenir. Eğer matriks, elmas taneciklerinden daha kısa sürede aşınırsa, tanecikler kesme işlemini tam olarak yerine getiremeden matriksten ayrılarak dökülürler. Bu durum matriksin zayıf olduğunu gösterir. Eğer, matriks çok güçlü olursa, aşınarak kesme özelliğini yitiren elmas tanecikleri matriksten ayrılamayacak ve elmas taneciklerinde kırılmalar meydana gelecektir. Kırılmış elmas taneciklerine sahip soket kesme esnasında daha fazla zorlanacaktır.

Elmas soketlerin tasarlanmasında doğal taş sertliği önemli bir parametredir. Sert doğal taşlarda daha yumuşak matriksli soket kullanılırken, sertliği az olan doğal taşlarda ise sert matriksli soket kullanılır. Ayrıca, sert doğal taşlarda elmas tanecik boyutu daha küçük ve konsantrasyonu yüksek elmaslar, yumuşak doğal taşlarda ise daha iri ve konsantrasyonu düşük elmas tanecikleri tercih edilir. Bu sadece göreceli bir değerlendirme olduğundan, gerçek durumlar çok farklı parametreleri içerisine alınarak yapılan deneyler ile elde edilir. Kesme şartlarına bağlı olarak elmas tanecik boyutundaki değişim Şekil 3.3’de verilmiştir. Zor kesme (sert doğal taş) koşullarından daha kolay (yumuşak doğal taş) kesme koşullarına gidildikçe elmas boyutu artmaktadır.



Şekil 3.3 Elmas boyutunun kesilen kayaç durumuna bağlı değişimi (Jennings ve Wright 1989).

Elmas tanecikleri seçerken elmas konsantrasyonu, elmas boyutu ve kalitesi önemlidir. Elmas socketin içerisindeki elmas taneciklerin sayısı konsantrasyon olarak ifade edilir. 100 konsantrasyon 4.4 carat/cm^3 'e eşit gelmektedir. Burada, 1 carat 0.2 gr'dır. Elmas taneciğinin boyutu ANSI mesh standardına göre US Mesh olarak gösterilir ve bu elek boylarını ifade etmektedir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Elmas tane boyutunun ANSI mesh standardında gösterilmesi (Gürçay 2005).

US mesh	Ortalama tane boyutu (μm)	Karat başına düşen tane sayısı
25/30	650	450
30/35	545	750
35/40	460	1250
40/45	385	2150
45/50	325	3600
50/60	275	6000
60/70	230	10000
70/80	195	16900

Elmas socketlerin disk üzerine birleştirilmesinde, lehimleme (oksi-gaz kaynağı), lazer kaynağı ve yüksek frekans kaynağı gibi yöntemler kullanılmaktadır. Lehimleme, maliyetinin düşük olması ve kolay yapılmasından dolayı elmas socketlerin birleştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisidir. Lazer kaynağı ise, özellikle yüksek mukavemet gerektiren socket bağlantılarında tercih edilir. Maliyetinin yüksek ve zor yapılması kullanım alanını daraltmaktadır. Yüksek frekans ise, elmas socketlerin daha seri kaynatılmasında kullanılmaktadır. Kesici disk üzerine bağlanan elmas socketlerin verimli kesme koşulunu sağlaması için elmas socket kalınlığı disk kalınlığından daima büyüktür. Ayrıca, bu şekilde kesici diskin doğal taşa sürtünmeside engellenir.

Elmas socketlerin, disk çevresine kaynak yapılması esnasında yüksek ısılar meydana gelmektedir ve bu durum diskte gerilme ve çarpılma, meydana getirmektedir. Kaynak

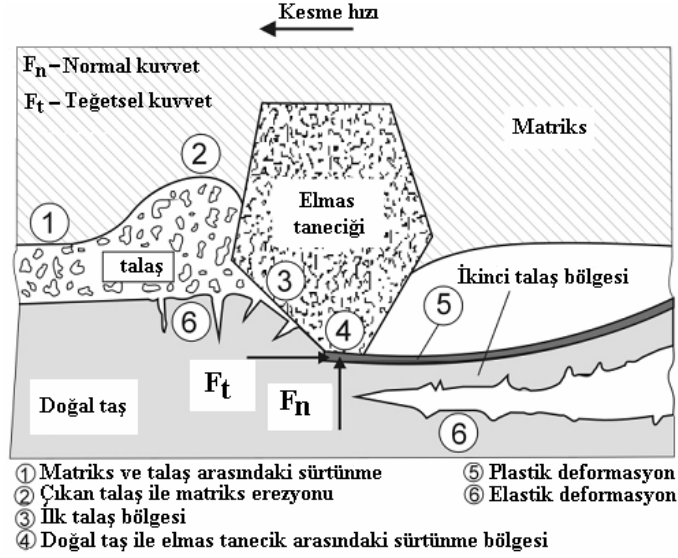
yapıldıktan sonra kesici disk üzerindeki gerilme ve çarpılma kullanmadan önce özel bir makine ile düzeltilmektedir. Elmas soketlerin üretimden sonra kesme işlemini yapan elmas tanecikleri yüzeyde görülmez ve bu durumda soketin kullanıma hazır hale getirmek için bilenmesi gerekmektedir. Elmas soketin bilinmesiyle birlikte elmas tanecikleri yüzeye doğru çıkmaktadır.

3.2.3. Elmas Soketlerin Aşınma Mekanizması

Doğal taşların kesilmesinde kullanılan elmas soketler matriks ve elmas taneciklerinden meydana gelmektedir. Matriks ve elmas tanecikleri kesme işleminde değişik mekanik ve ısıl zorlanmalara maruz kalmakta ve bunun sonucu olarak aşınma veya kırılma gibi yüzey hasarlarına sebep olmaktadır. Elmas soketler ile kesme işlemi esnasında meydana gelen kuvvetlerin etkisi ile elmas kesici ve iş parçası arasındaki mekanik etkileşim aşağıdaki faktörlerden dolayı meydana gelmektedir (Tönshoff vd, 2002).

- Elmas kesici ile iş parçasının elastik ve plastik deformasyonu.
- Doğal taş ile elmas tanecikler arasındaki sürtünme.
- Doğal taş ile matriks arasındaki sürtünme.
- Kesilen doğal taş parçacıkları (kesme ortamından uzaklaşamayan) ile matriks arasındaki sürtünme.

Elmas kesici soketler ile kesme esnasında ortamdan uzaklaşamayan doğal taş parçacıkları basma ve çekme gerilmelerine sebep olabilmektedir. Bu ilk talaş biçimi bölgesi olarak adlandırılmaktadır ve Şekil 3.4'de verilmiştir. Kuvvet kaldırıldığında elastik bölge gevrek kırılmaya sebep olan kritik çekme gerilmelerine yol açmaktadır. Bu mekanizma çekme gerilmeler ile oluşan ikinci talaş oluşum bölgesi tarafından etkilenmektedir.



Şekil 3.4 Bir elmas taneciğinin kesme mekanizması (Tönshoff vd. 2003).

Elmas soketlerde meydana gelen aşınmayı elmas tanecik ve matriks aşınması olarak ikiye ayırabiliriz. Matriks, elmas taneciklerini tuttuğu gibi, sokete de bir geometri kazandırmaktadır. Soket matriksinde görülen aşınma türleri yapışma (adhesive), abrasive (sürtünme), erozif ve yayınma (diffusion) şeklindedir (Tönshoff vd. 2002).

Elmas soketin aşınmasında doğrudan doğal taş malzemesinin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Genellikle, abraziv ve erozif aşınma türleri görülmektedir. Abraziv aşınma, kesme esnasında matriks yüzeyinin kazılması ile meydana gelmektedir. Erozif aşınma daha çok kesme esnasında elmas taneciklerinin önünde meydana gelmektedir. Kesme esnasında elmas tanecik önünde toplanan mikron boyuttaki kayaç parçacıkları hemen kesme ortamından uzaklaşmamakta ve sürtünmenin etkisi ile bir süre sonra tanecik önü aşınarak krater oluşmaktadır. Soket ilk kullanıldığında böyle bir kanalın olmadığı ve zamanla oluştuğu görülmektedir. Elmas soketlerde bu kanalların oluşması istenmeyen bir durumdur ve sonuçta bütün elmas taneciklerinin önünde oluşmaktadır. Elmas kesicilerin matriks tasarımı kesilen kayacın sertliğine bağlı olarak değişmektedir.

Matriks ile elmas tanecikler aynı oranda aşınmalıdır. Matriksin, elmas taneciklerden daha hızlı aşınması taneciklerin kesme görevini yerine getiremeden dökülmesine sebep olur. Matriksin elmas taneciklerden daha geç aşınması ise, elmas taneciklerinin kesme

yeteneğini tamamen kaybetmesine yol açar ve bunun sonucu olarak daha fazla enerji tüketimi meydana gelir.

Elmas kesici disklerde asıl kesme işlemini yapan elmas taneciklerdir. Elmas tanecikler kesme esnasında değişik kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler etkisinde elmas taneciklerde aşağıdaki hasarlar görülmektedir.

- Elmas düzleşmesi, genellikle elmas taneciği ısı yüklerine maruz kaldığında görülmektedir.
- Elmas kırılması, kayaça ilk temas anında veya kesme esnasında anlık kuvvet artışlarında görülmektedir. Ayrıca, kalitesi düşük elmasların kullanılması kırılmaları önemli ölçüde artırmaktadır.
- Elmas dökülmesi, elmas taneciğini tutan matriks bağının kuvvetli olmaması ve üzerine etki eden kuvvetlerin etkisi ile meydana gelmektedir.

Bu hasarların oluşmasında, işleme parametreleri, elmas tanecik boyutu, elmas konsantrasyonu, elmas kalitesi, kayaç sertliği ve minerolojik özellikleri, soğutma durumu gibi çok farklı faktörler etkili olmaktadır.

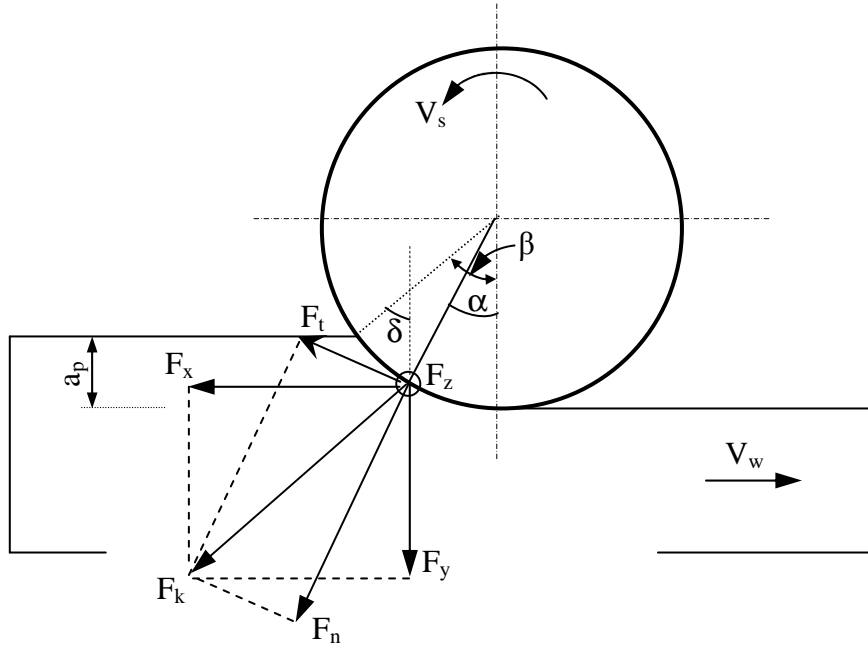
Doğal taşın kesilmesi esnasında elmas boyutu, konsantrasyonu ve elmas taneciklerini tutan matriks yapısının büyük bir önemi vardır. Granit gibi sert doğal taşın kesilmesinde elmas tanecikler daha küçük ve yoğun seçilir. Eğer elmas boyutu büyük olursa, matriksten yüksekliği daha fazla olacaktır ve ani ve tekrarlı yükler sonucunda daha fazla kırılma meydana gelecektir. Sertliği düşük doğal taşlarda ise; daha az yoğunluk ve büyük boyutlarda elmas tanecikleri seçilir. Küçük boyutlarda seçilmesi elmas soket yüzeyine sıvama yapmakta ve kesimi zorlaştırmaktadır. Yüksek sertliğe sahip doğal taşların işlenmesinde dayanımı ve tokluğu yüksek kübik oktehdral elmas tanecikler kullanılır. Kesme işlemi çok karmaşık ve birbirinden bağımsız çok fazla değişkeni içerdiğinden deneysel yöntemler ile yapılacak çok fazla deneyler ile elmas soket performansları belirlenir.

3.3. Kesici Disklerin Kesme Mekanizması

3.3.1. Kesici Disk Üzerine Etki Eden Kuvvetler

Kesici diskler ile kesme işlemi esnasında disk üzerine değişik kuvvetler etki etmektedir. Bu kuvvetler etkisinde disk zorlanmaktadır. Kesici diskler ile kesme işlemi yaparken aşağı ve yukarı yönlü olmak üzere iki farklı kesme durumu kullanılmaktadır. Aşağı ve yukarı yönlü kesme durumları sırasıyla Şekil 3.5 ve 3.6'da verilmiştir.

Aşağı yönlü kesme için aşağıdaki bağıntılar kullanılarak normal, teğetsel ve kesme kuvvetleri sırasıyla denklem (3.5), (3.6) ve (3.7) denklemleri ile hesaplanır (Tönshoff vd. 1993; Büyüksağış 1998).



Şekil 3.5 Aşağı yönlü kesme işleminde elde edilen kuvvetler.

Yatay ve düşey doğrultudaki bileşke kuvvetler,

$$F_y = F_k \cos \delta \quad F_x = F_k \sin \delta \quad (3.1)$$

ile hesaplanır. Buradan,

$$F_n = F_k \cos(\alpha - \delta) \quad (3.2)$$

elde edilir. Geometriden,

$$\cos \alpha = 1 - \frac{2a}{D} \quad (3.3)$$

olarak hesaplanır. Burada, D elmas kesici diskin çapıdır. Bu durumda,

$$F_n = F_k \left(\cos \alpha \frac{F_y}{F_k} + \sin \alpha \frac{F_x}{F_k} \right) \quad (3.4)$$

olur. Böylece, yatay ve düşey bileşke kuvvetlerine bağlı olarak disk üzerine etki eden normal kuvvet,

$$F_n = F_y \cos \alpha + F_x \sin \alpha \quad (3.5)$$

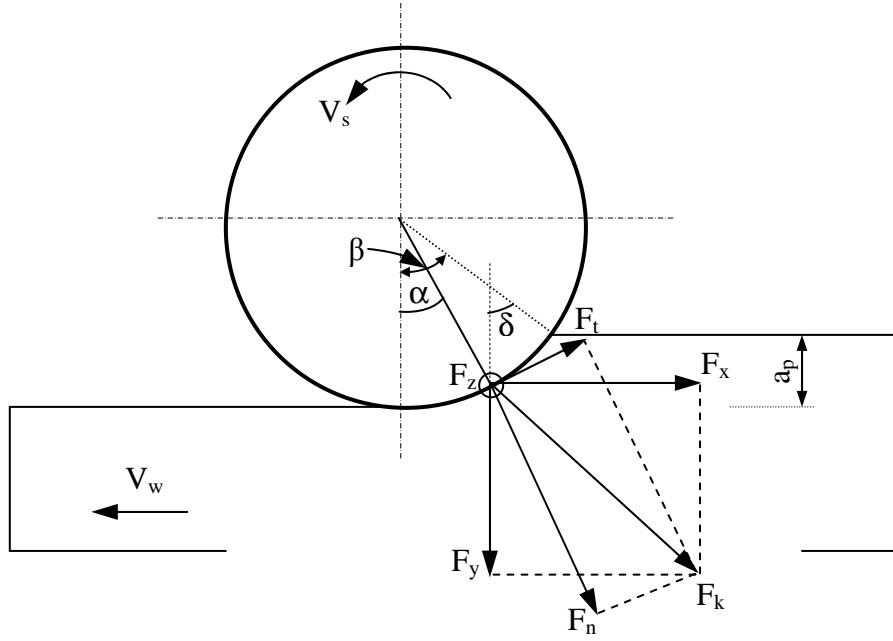
olarak elde edilir. Benzer şekilde, teğetsel kuvvet ise,

$$F_t = F_y \sin \alpha - F_x \cos \alpha \quad (3.6)$$

ile hesaplanır. Bileşke kuvvet,

$$F_k = \sqrt{F_n^2 + F_t^2} \quad (3.7)$$

şeklindedir.



Şekil 3.6 Yukarı yönlü kesme işleminde elde edilen kuvvetler.

F_x ve F_y kuvvetleri kartezyen koordinat sisteminde ölçüm yapan dinamometre yardımıyla deneysel olarak elde edilmektedir. Şekil 3.6'da verilen zıt yönlü bir kesme durumlarında ise normal ve teğetsel kuvvetler,

$$F_n = F_y \sin \alpha + F_x \cos \alpha \quad (3.8)$$

$$F_t = F_x \cos \alpha - F_y \sin \alpha \quad (3.9)$$

olur. Diskin kavrama açısı (β) ve normal kuvvetin etki açısı (α),

$$\beta = \arccos\left(1 - \frac{2a_p}{D}\right) \quad (3.10)$$

$$\alpha = w\beta \quad (3.11)$$

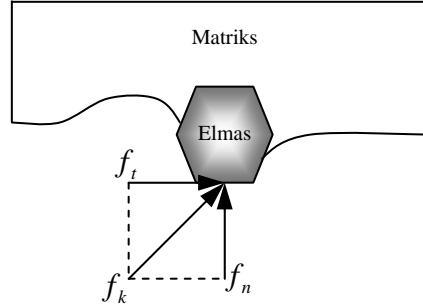
ile ifade edilir. Normal kuvvetin etki açısına ait w faktörünün Tobias tarafından kayalar için 0,7 olarak alınması önerilmiştir. Aynı ve zıt yönlü sığ kesme işlemlerinde teğetsel kuvvetlerin, normal kuvvetlere oranı sürtünme kuvvetini ifade etmekte olup,

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (3.12)$$

ile verilmiştir (Shaw 2005; Anderson vd. 2008). Daha derin kesme işlemlerinde F_t/F_n oranı diskin daha rahat talaş kaldırdığını göstermektedir.

3.3.2. Bir Elmas Tanecik Üzerine Etki Eden Kuvvetler

Elmas kesici diskler ile kesme işlemi yaparken elmas soket değişik kuvvetler tarafından zorlanmaktadır. Elmas soketlerde asıl kesme işlemini soket içerisinde belirli sayılarda yerleştirilmiş elmas tanecikler yapmaktadır. Elmas tanecik kesme işlemi yaparken değişik kuvvetlere maruz kalmaktadır. Şekil 3.7’de bir elmas taneciğinin kesme işlemi boyunca maruz kaldığı kuvvetler gösterilmiştir. Bu açıdan bir elmas tanecik üzerine gelen kuvvetlerin bilinmesi soketin tasarım ve optimizasyonu açısından önemlidir.



Şekil 3.7 Bir elmas tanecik üzerine etki eden kuvvetler.

Çok sığ kesme derinliklerinde F_n , F_y ile, F_t ise F_x ile eşit olarak kabul edilir. O halde bir kesici disk üzerindeki kuvvet denklemi (Li vd. 2001; Zhu vd. 2001),

$$F_n^2 + F_t^2 = F_x^2 + F_y^2 \quad (3.12)$$

olarak yazılabilir. Kesici disk üzerine etki eden teğetsel kuvvet (Dai ve Xu 2004; Xu ve Shen 2001),

$$F_t = \frac{P}{V_s} \quad (3.13)$$

ile ifade edilir. Burada P güç tüketimi, V_s ise çevresel hızdır. Normal kuvvet ise,

$$F_n = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 - F_t^2} \quad (3.14)$$

dir. Kesici disk üzerine etki eden normal ve teğetsel kuvvetlerden bir elmas tanecik üzerinde etkili olan normal ve teğetsel kuvvetler (Zhang vd. 2008; Yu vd. 2006),

$$f_n = \frac{F_n}{C_a * L_c * b} = \frac{F_n}{A_n} \quad (3.15)$$

$$f_t = \frac{F_t}{C_a * L_c * b} = \frac{F_t}{A_n} \quad (3.16)$$

ile hesaplanır. Burada A_n temas bölgesindeki elmas tanecik sayısı ve b ise elmas soket genişliğidir. Buradaki kesme bölgesinin temas uzunluğu (Akkurt, 1996, Tawakoli 1990),

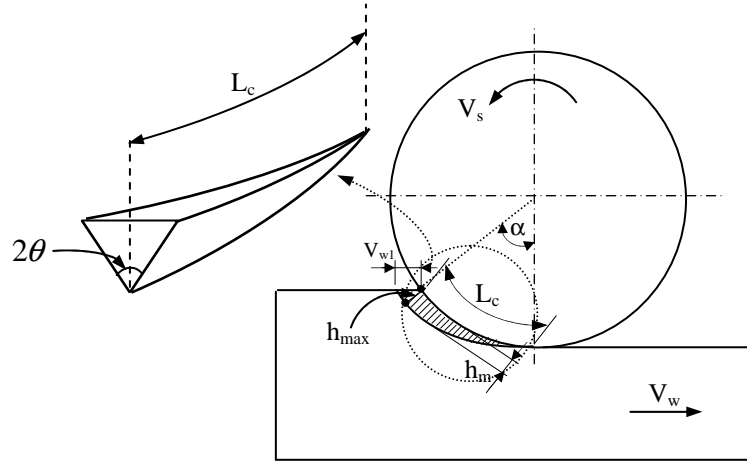
$$L_c = \sqrt{(a_p * D)} = \frac{\pi * D * \alpha}{360} \quad (3.17)$$

Burada, a_p kesme derinliğidir. Elmas kesici disk yüzeyindeki birim alana düşen aktif tanecik sayısı ise (Li vd. 2001),

$$C_a = \frac{C * \eta}{(L + L_k)b} \quad (3.18)$$

şeklindedir. Burada, C her bir elmas soketteki etkili tanecik sayısı, η aktif tanecik sayısının etkili tanecik sayısına oranı, L soket uzunluğu, L_k ise soketler arasındaki boşlukları ifade etmektedir. Aktif elmas tanecik ile asıl etkili olan elmas tanecik sayıları birbirinden farklıdır. Bu sayılar yukarıdaki formülle hesaplanabildiği gibi, mikroskopla

da kolayca belirlenebilir. Elmas tanecik yüksekliği, elmasın performansını ve elde edilen talaş kalınlığının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Şekil 3.8’de verilen maksimum elmas tanecik kesme derinliği (bir ilerlemedeki maksimum talaş kalınlığı) (Dai vd. 2004; Shen vd. 2006; Xu ve Huang 2004),



Şekil 3.8 Deforme olmamış talaş oluşumunun gösterilmesi.

$$h_{max} = \sqrt{\frac{3}{C_a * \tan \theta} \left(\frac{V_w}{V_s}\right) \sqrt{\frac{a_p}{D}}} \quad (3.19)$$

ile ifade edilir. Ortalama talaş kalınlığı ise,

$$h_m = \frac{a_p * 360}{\pi * \alpha * D} \quad (3.20)$$

olur. $a_p / D \leq 0,2$ olduğu durumdaki ortalama talaş kalınlığı (Akkurt, 1996),

$$h_m = V_{w1} \sqrt{\frac{a_p}{D}} \quad (3.21)$$

ile açıklanır. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi V_{w1} bir dişe karşılık gelen ilerleme miktarı olup,

$$V_{w1} = \frac{V_w}{V_s * n} \quad (3.22)$$

ile gösterilir.

3.3.3. Kesici Diskin Spesifik Enerjisi

Spesifik enerji elmas kesici diskin kesme performansı açısından önemlidir. Spesifik enerji (SE), birim zamanda birim hacmi kesmek için gerekli enerji miktarını ifade etmektedir ve (Yu vd. 2004; Li vd. 2006; Yu vd. 2008)

$$SE = \frac{P}{a_p * V_w * b} = \frac{F_t * V_s}{a_p * V_w * b} \quad (3.23)$$

ile hesaplanır. Denklem 3.23 ile birlikte SE,

$$SE = \frac{P * t}{Q_w} \quad (3.24)$$

olarak yazılır. Buradaki, Q_w birim zamanda kesilen doğal taş hacmidir.

3.4. Sonlu Elemanlar Metodu

Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı nedeniyle genellikle kesin çözüm yerine yaklaşık çözümler tercih edilmektedir. Sonlu elemanlar, karmaşık olan problemleri kendi içersinde alt problemlere ayırarak çözümün gerçekleştirildiği bir metottur. Karmaşık olan problemlerin kolay ve kısa bir sürede çözülmesi bu metodu popüler kılmıştır. Çeşitli metotlar kullanılarak yapılan sayısal çözümlerin hiçbirinde kesin bir çözüm elde etmek mümkün değildir. Kullanacağımız metoda bağlı olarak yaklaşık bir çözüm elde ederiz. Sonlu elemanlar metodu bize çözdüğümüz problem hakkında yaklaşık bir çözüm önerir (Topçu ve Taşgetiren 1998).

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi, bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklem takımının elde edilmesidir. Sonlu elemanlar metodunun üç temel kabulü bulunmaktadır. Birincisi, karmaşık olan problemin çözüm bölgesi daha basit alt bölgelere ayrılır. İkincisi, elemanlardaki sürekli fonksiyonlar cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak kabul edilir. Üçüncüsü ise, elde edilecek olan değerlerin her eleman içindeki tanım denklemlerinin düğüm noktalarındaki değerler problemin çözülmesinde yeterli olmaktadır (Topçu ve Taşgetiren 1998).

Sonlu elemanlar metodunda düğüm ve eleman sayılarını arttırdığımızda daha doğru sonuçlar elde edilir. Düğüm ve eleman sayısının artırılması daha büyük matrislerin çözümlerini içerdiğinden, problemin çözümü daha uzun zaman alır. Bu metot ile statik analizler yapılabildiği gibi, titreşim, akustik, harmonik gibi dinamik analizler de yapılabilmektedir.

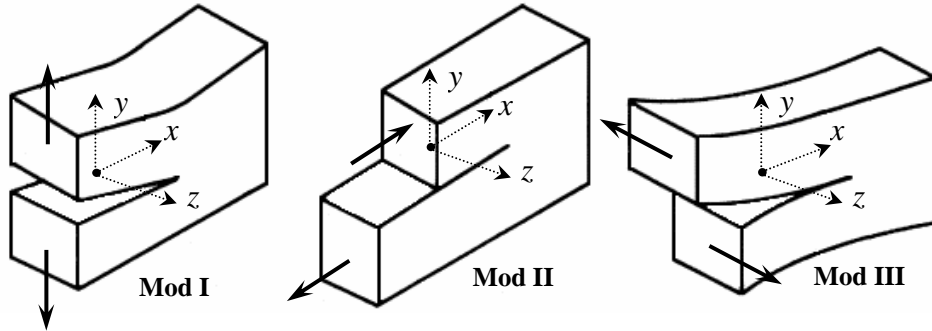
Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte sonlu elemanlar yöntemi de hızlı bir şekilde gelişmiştir. Daha önceleri bu metot ile küçük problemler çözülebilenken, günümüzde sonlu elemanlar tabanlı ABAQUS, NASTRAN, PATRAN, ANSYS, Franc2DL gibi programların gelişmesiyle daha büyük ve karmaşık problemler kolayca çözülebilmektedir. Bu gibi programlar ile çok sayıda düğüm ve eleman sayılarında çözümler gerçekleştirilebilmektedir.

3.4.1. Kırılma Mekanikliği Analizi

Makine parçaları çalışma koşullarına bağlı olarak statik veya dinamik kuvvetlere maruz kalabilmektedir. Bu kuvvetler etkisinde makine parçalarında değişik hasarlar görülmektedir. Bu hasarlar genellikle bir bölgede oluşan çatlak olabildiği gibi, özellikle kırılma şeklinde de hasarlar görülmektedir. Kırılma şeklinde görülen hasarlar sünek ve gevrek olmak üzere iki şekilde meydana gelebilmektedir. Kırılma açısından en tehlikeli olanı gevrek kırılmadır ve bu gibi kırılmaları önceden tahmin etmek oldukça güçtür. Makine parçasının malzeme tokluğu, çatlak boyu ve gerilme seviyesi gevrek kırılmaya olan eğilimi artırmaktadır. Kırılma mekanikliğinin temel sorunu; bir makine elemanı

içerisinde var olan keskin çatlağın önündeki gerilme bölgesinin doğru analiz edilmesidir. Bu gerilme bölgesi gerilme yığılma (şiddet) faktörü olan K parametresi ile belirtilmektedir.

Kırılma mekaniği problemleri Lineer Elastik Kırılma Mekaniği (LEFM) ve Elastik – Plastik Kırılma Mekaniği (EPFM) olmak üzere ikiye ayrılır. Lineer elastik kırılma mekaniğinin teorisi günümüze kadar oldukça iyi bir şekilde ortaya konmuş ve elastik-plastik kırılma mekaniğinin temellerini teşkil etmiştir. Lineer elastik kırılma mekaniğinde, çatlak veya çatlığa benzeyen süreksizlikler civarındaki gerilmeler ile parçaya uygulanan yükleme durumu, çatlak büyüklüğü, çatlak geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlıdır (Aslantaş 2003). Elastik bir cisim içerisinde bulunan bir çatlak gerilme durumlarını inceleyebilmek için çatlak yüzeylerinin birbirine göre hareketlerini içine alan üç farklı kırılma modu bulunmaktadır. Açılma, kayma ve yırtılma olan bu kırılma modları Şekil 3.9’da verilmiştir (Bui 2006, Uğuz 1996).



Şekil 3.9 Kırılma mekaniği problemlerinde karşılaşılan kırılma modları.

Mod I de deplasmanlar x - y ve x - z düzlemlerine göre simetrik olup açılma modu olarak adlandırılır. Burada çatlak karşıklı yüzeyleri birbirine göre ters yönde hareket eder. Kayma modu olan Mod II de ise deplasmanlar z - y düzlemine göre simetrik, x - z düzlemine göre ise vrid simetrisine sahiptir. Yüzeyler ters yönde yanlara doğru birbirini üzerinde kayarak hareket ederler. Mod III yırtılma modu olup her iki düzleme göre vrid simetrisine sahiptir. Yüzeyler çatlak ucu çizgisine paralel olarak hareket ederler. Her çatlak modu farklı bir gerilme alanına karşılık gelmektedir. Eleman üzerinde çatlak modları tek tek ya da bu modların bir birleşimi olarak bulunurlar (Aslantaş 2003).

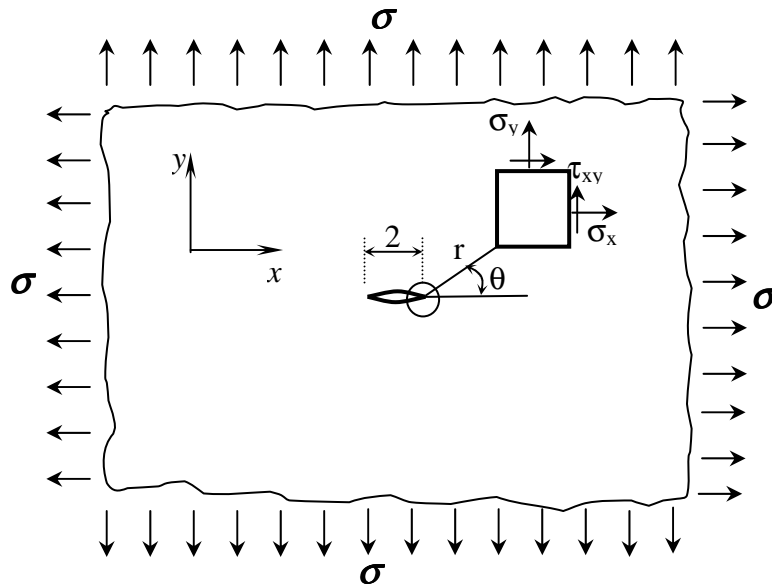
Bir düzlem içerisindeki çatlakın ilerlemesine yönelik yapılan çalışmalar, genellikle Mod I ve Mod II üzerinde yoğunlaşmaktadır. Mod I ve Mod II nin birlikte etkin olduğu durumlar mixed-mod (karışık mod) olarak adlandırılır. Irwin çatlak ucu bölgesinde meydana gelen gerilmeler için analitik bir metot geliştirmiştir. Şekil 3.10'da verilen sonsuz büyüklükteki bir plakada yer alan bir çatlak ucunda meydana gelen gerilme bileşenleri (Uğuz 1996; Bui 2006; Saxena 1998; Pook 2007);

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) - \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \left(2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right) \quad (3.25)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) + \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (3.26)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} + \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \quad (3.27)$$

şeklindedir.



Şekil 3.10 Çatlak ucunda gerilme bileşenleri için koordinat sistemi.

Çatlak ucunda yani $r = 0$ olduğu durumdaki gerilme denklemlerinden de görüleceği gibi gerilme değerleri sonsuz olmaktadır. Bu durum tam gevrek malzemeler için geçerlidir.

Çatlak ucu bölgesindeki gerilme bileşenleri K_I ve K_{II} gerilme şiddeti faktörlerine bağlı olarak elde edildiği gibi deplasmanlar da K_I ve K_{II} ye bağlı olarak elde edilmiştir (Aslantaş 2003; Bui 2006);

$$u = \frac{K_I \sqrt{2\pi r}}{8\pi G} \left[(2\kappa - 1) \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{3\theta}{2} \right] + \frac{K_{II} \sqrt{2\pi r}}{8\pi G} \left[(2\kappa + 3) \sin \frac{\theta}{2} + \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (3.28)$$

$$v = \frac{K_I \sqrt{2\pi r}}{8\pi G} \left[(2\kappa + 1) \sin \frac{\theta}{2} - \sin \frac{3\theta}{2} \right] - \frac{K_{II} \sqrt{2\pi r}}{8\pi G} \left[(2\kappa - 3) \cos \frac{\theta}{2} + \cos \frac{3\theta}{2} \right] \quad (3.29)$$

burada G malzemenin kayma modülü ve κ ,

Düzlem şekil değiştirme için $\kappa = 3 - 4\nu$,

Düzlem gerilme durumu için $\kappa = (3 - \nu)/(1 + \nu)$ (3.30)

şeklinde problemin düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme şartlarına göre değişen bir katsayı olarak belirtilir.

3.4.2. Gerilme Şiddet Faktörü

Gerilme şiddet faktörü lineer elastik malzemelerin çatlak bölgesindeki meydana gelen gerilmeleri tanımlamaktadır. Gerilme şiddet faktörü çatlak ucundaki elastik alanın büyüklüğü olarak ifade edilir ve geometri, gerilme ve çatlak uzunluğuna bağlı olarak,

$$K = \gamma \sigma \sqrt{\pi a} \quad (3.31)$$

ile gösterilir (Uğuz 1996, Aslantaş 2003). Burada γ numunenin geometrik özelliğine bağlı boyutsuz bir parametredir, a çatlak boyu ve σ ise elemana etki eden gerilmedir. Çatlak ucunda meydana gelen K_I ve K_{II} gerilme şiddeti faktörlerini hesaplamak için çeşitli yöntemler kullanılmakla beraber, en çok kullanılan ve daha doğru sonuçlar veren metod düğüm deplasmanları metodudur. Düğüm deplasman metodu, genellikle sonlu elemanlar ve sınır elemanlar metodu gibi nümerik çözüm yöntemlerinde

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Kesme Testleri

Deneylerde Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Araştırma Merkezinde bulunan bilgisayar kontrollü bir blok kesme makinesi kullanılmıştır. Bir proje kapsamında tasarım ve üretimi yapılmış olan makinenin (Büyüksağış 1998, Büyüksağış ve Göktaş 2001,) bu tez çalışmasında da maddi katkısı bulunan 106M189 nolu TÜBİTAK projesi ile modernizasyonu gerçekleştirilmiştir. Resim 4.1a ve b’de sırasıyla makinenin önceki ve modernizasyonu sonrasındaki görüntüleri verilmiştir.

Makine üzerine en fazla 400 mm çapında testere bağlanabilmektedir. Testere, mile bağlı olan 5.5kW’lık bir AC motordan hareket almaktadır. Makine içerisindeki bütün hareketler bilgisayar kumandası ile sağlanmaktadır. Tablanın ileri-geri hareketi, testere başlığının öne-arkaya ve aşağı-yukarı hareketleri de 0,75 kW lık AC motorlar ile yapılmaktadır. Çalışanın ve makinenin güvenliği için tabla ve testere başlığına algılayıcı sınır anahtarları (endüktif sensör) yerleştirilmiştir. Şekil 4.1’de ise, bilgisayar kontrollü blok kesme makinesinin şematik görünümü verilmiştir.

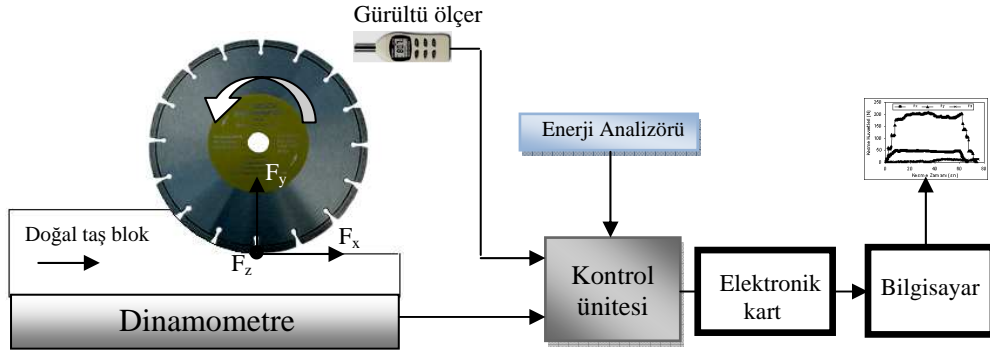


(a)



(b)

Resim 4.1 Makinenin modernizasyondan a) Önceki, b) Sonraki görüntüsü.



Şekil 4.1 Blok kesme makinesinin şematik görünümü.

Daha önce kullanılan kuvvet ölçerin (Load cell) yerine üç yönlü kuvvetleri aynı anda ölçen yeni bir dinamometrenin montajı yapılmıştır. Dinamometrenin tasarım, montaj ve kalibrasyonu ESİT A.Ş. tarafından yapılmıştır. Numune boyutları düşünüldüğünde ve güvenli sonuçlar elde etmek için iki adet dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometreler bir aparat ile birbirine bağlanmıştır. Resim 4.2 de kuvvet ölçümlerinin gerçekleştirilmesi için kullanılan dinamometre verilmiştir. Kesme esnasında elde edilen güç tüketimleri SHARK 100 marka enerji analizörü ile belirlenmiştir. Kesme deneylerinde gürültünün ölçülmesi için bir gürültü ölçer kullanılmıştır (Resim 4.2). Gürültü değerlerini bilgisayardan görmek için 0-3V DC arasında gerilim verebilen bir çıkış bulunmaktadır.



a)

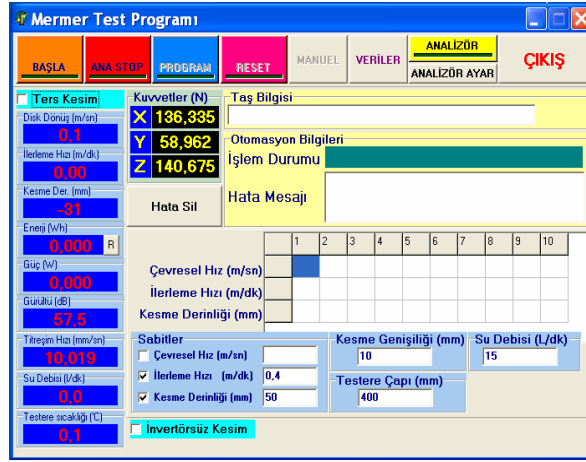


b)

Resim 4.2 Kesme deneylerinde kullanılan a) Dinamometre, b) Gürültü ölçer.

Makinenin modernizasyonunda, üç yönlü dinamometre, enerji analizörü ve gürültü ölçer ile birlikte bir kontrol ünitesine yerleştirilmiştir. Kontrol ünitesi de, bir bilgisayara bağlanarak bütün kontroller bilgisayardan sağlanmıştır.

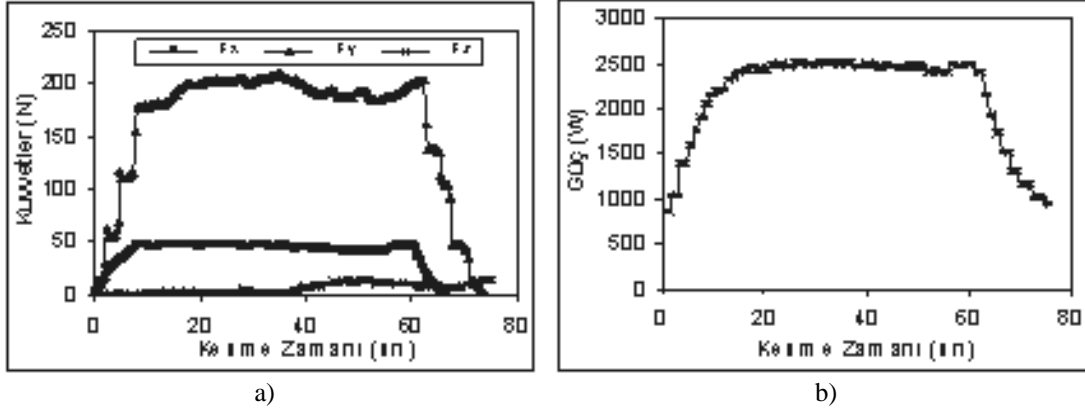
Dinamometre, gürültü ölçer, güç tüketimi gibi kesme verilerinin alındığı bir program ara yüzü geliştirilmiştir. Resim 4.3’de makinenin hareketini kontrol etmek için kullanılan program ara yüzü verilmiştir. Bu ara yüzle hem makinenin hareketleri otomatik olarak kontrol edilmiş, hem de kesme esnasındaki veriler alınmıştır. Resim 4.4’de ise kesme süresince dinamometre, enerji analizörü ve gürültü ölçerden değerleri almak için kullanılan program ara yüzü verilmiştir. Kesme işlemi sonrasında elde edilen güç tüketimi ve kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Resim 4.3 Makinenin hareketlerini kontrol etmek için kullanılan program ara yüzü.

Anal Tur	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
01										
1	Blue Pearl kayacı için kesme deneyi									
2										
3	Çevresel Hız (Sabit) =30 m/sn									
4	İlerleme Hızı (Sabit) =0,5 m/dk									
5	Kesme Derinliği (Sabit) =30 mm									
6										
7	t(sn)	Aktif(W)	Fx(N)	Fy(N)	Fz(N)	Vt(mm/s)	Gu(Db)	Vc(m/sn)	Tt(C)	
8	0,25	733,94	1,714	3,664	0,751	10,189	106,63	29,052	0,119	
9	0,5	733,94	3,922	9,288	0,149	10,162	107,07	28,968	0,121	
10	0,75	733,94	6,506	15,45	0,829	10,294	107,83	28,918	0,118	
11	1	733,94	6,506	15,45	0,829	10,294	107,83	28,918	0,118	
12	1,25	733,94	9,487	21,653	1,325	10,439	109,36	28,954	0,127	
13	1,5	733,94	12,511	28,065	2,379	10,68	109,32	28,863	0,125	
14	1,75	911,545	15,222	32,27	2,962	10,829	108,39	29,024	0,119	
15	2	911,545	18,256	48,976	3,652	10,777	108,96	29,093	0,113	
16	2,25	911,545	18,256	48,976	3,652	10,777	108,96	29,093	0,113	
17	2,5	911,545	21,091	72,238	4,602	10,467	109,61	28,998	0,115	
18	2,75	911,545	22,076	72,721	5,395	10,136	110,68	29,119	0,11	
19	3	911,545	22,671	72,694	6,203	10,031	110,55	29,041	0,121	
20	3,25	911,545	24,887	75,463	6,301	10,014	109,43	28,917	0,095	
21	3,5	1282,293	24,887	75,463	6,301	10,014	109,43	28,917	0,095	
22	3,75	1282,293	28,51	105,533	6,848	9,793	107,87	28,95	0,206	
23	4	1282,293	30,727	110,087	6,878	9,509	107,91	28,841	0,133	
24	4,25	1282,293	31,508	110,186	6,871	9,328	108,26	29,005	0,15	
25	4,5	1282,293	30,286	109,865	7,477	9,302	109,08	28,946	0,147	
26	4,75	1711,834	30,286	109,865	7,477	9,302	109,08	28,946	0,147	
27	5	1711,834	29,551	115,169	7,3	9,152	109,11	29,002	0,108	
28	5,25	1711,834	29,11	156,126	8,758	9,208	108,03	29,21	0,122	
29	5,5	1711,834	30,602	170,764	8,871	9,5	107,58	28,968	0,151	

Resim 4.4 Kesme işlemi sonrasında elde edilen değerler.

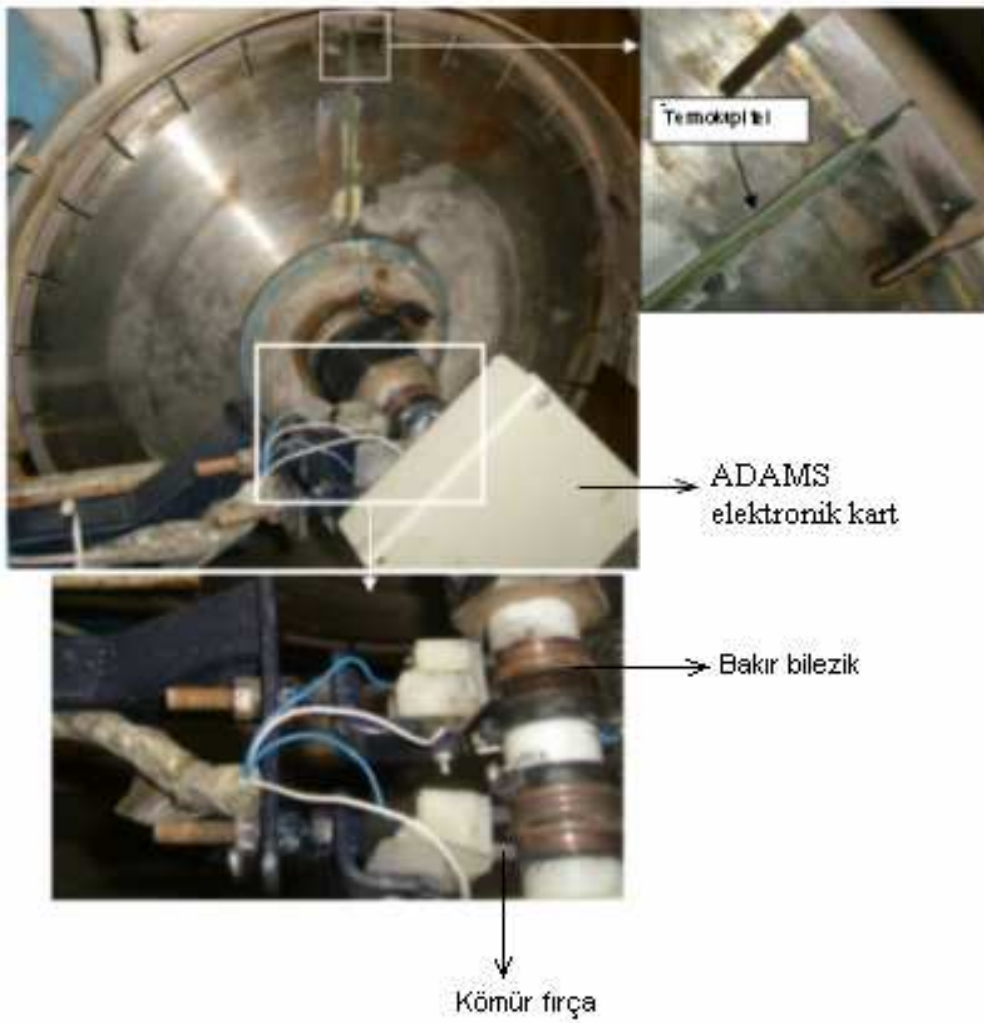


Şekil 4.2 a) F_x , F_y and F_z kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi, b) Güç tüketiminin zamana bağlı değişimi.

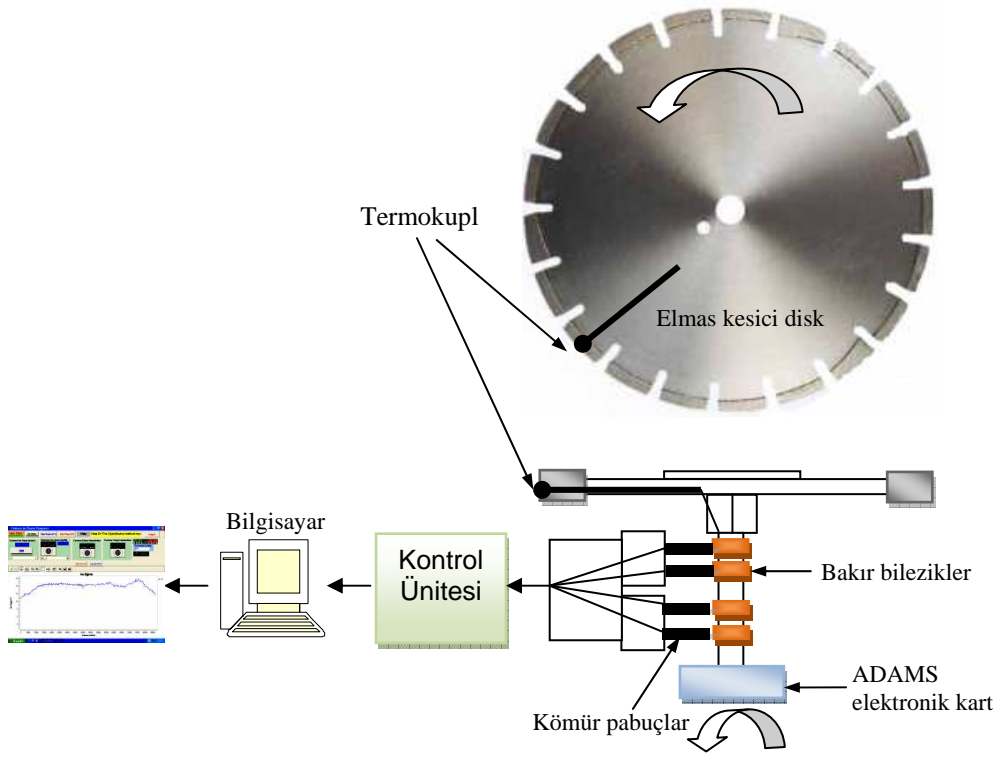
4.2. Sıcaklık Ölçümünde Kullanılan Ölçüm Düzenegi

Bu çalışmada içeren TÜBİTAK projesinde elmas sokette meydana gelen sıcaklığın ölçülebilmesi için ilk defa kullanılan yeni bir metot geliştirilmiştir. Resim 4.5’de sıcaklık ölçümünde kullanılan bu deney düzeneginin fotoğrafı verilmiştir. Sıcaklık ölçmek için kullanılan düzenek mekanik ve elektronik olmak üzere iki şekilde açıklanabilir. Sistemin mekanik bağlantısında, şekilde de görüldüğü gibi ilk olarak testere üzerine (soket dahil) lazer işleme ile bir kanal açılmıştır. Bu kanal içersine K tipi termokupl yerleştirilmiştir. Termokupla ait uçlar soketin alın yüzeyiyle aynı düzlemde olacak şekilde lehimlenmiştir. Kesme esnasında termokuplun telin testere gövdesinden ayrılmaması için plastik yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Sistemde, dört ayrı bakır bilezik bulunmakta olup bu bileziklerin uç noktasına bir elektronik kart (ADAMS 3011) yerleştirilmiştir. Bilezikler, plastik bağlantılar ile yalıtılmıştır. Birbiriyle bütün olan elektronik kart ve bakır bilezikler vida ile testerenin bulunduğu gövdeye bağlanmıştır. Ayrıca, bu sistem vidalı somun görevi yaparak testerenin makineye bağlanmasında da kullanılmaktadır. Sinyal almak için tasarlanmış kömür fırçalar (2 adet) makine gövdesine rijit bir şekilde monte edilmiştir. Testerenin dönmesiyle birlikte bakır bilezik ve elektronik kart dönmektedir. Sabit olan kömür fırçalar ise bilezik üzerine sürekli temas halinde kalmaktadır. Sıcaklık ölçümünde kullanılan deney düzeneginin şematik görünümü Şekil 4.3’de verilmiştir.

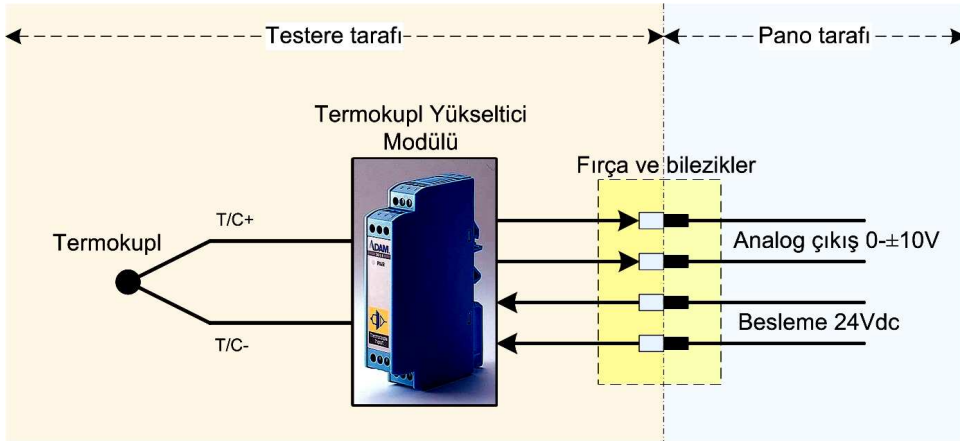
Elektronik bağlantıda ise, termokupl teli iki ayrı metalden meydana gelmektedir. Bunlar sadece testere uç bölgesinde birleşmekte daha sonra ADAMS 3011 elektronik karta ve buradan da bakır bileziklere bağlanmaktadır (Şekil 4.4). Termokuplun aldığı sinyal, ADAMS 3011 elektronik karta iletilmektedir. Elektronik kart bu sinyalleri düzenleyerek bakır bileziklere iletmektedir. Bilezikler üzerine sürekli temas halinde olan kömür fırçalar sayesinde bu sinyaller alınıp kontrol ünitesine, buradan da bilgisayar yazılımına aktarılmaktadır. Resim 4.6’da sıcaklık ölçümlerini kayıt etmek ve makinenin kontrolünü sağlamak için yazılmış bilgisayar yazılımının ekran görüntüsü verilmiştir. Bu deney düzeneği ile kesme işlemi süresince anlık olarak sıcaklık değerlerinin alınması ve birim zamanda çok sayıda sıcaklık verilerinin kaydedilmesi, bu konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalara (Xu 2001, Tönshoff vd. 2002) göre avantajlı olduğunu göstermektedir.



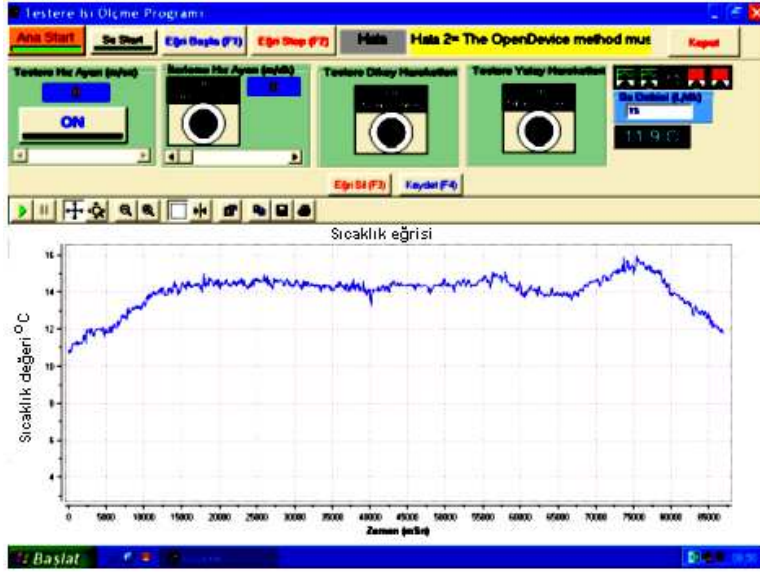
Resim 4.5 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan deney düzeneği.



Şekil 4.3 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan deneysel düzeneğin şematik görünümü.



Şekil 4.4 Sıcaklık ölçümü için tasarlanan düzeneğin bağlantı şeması.

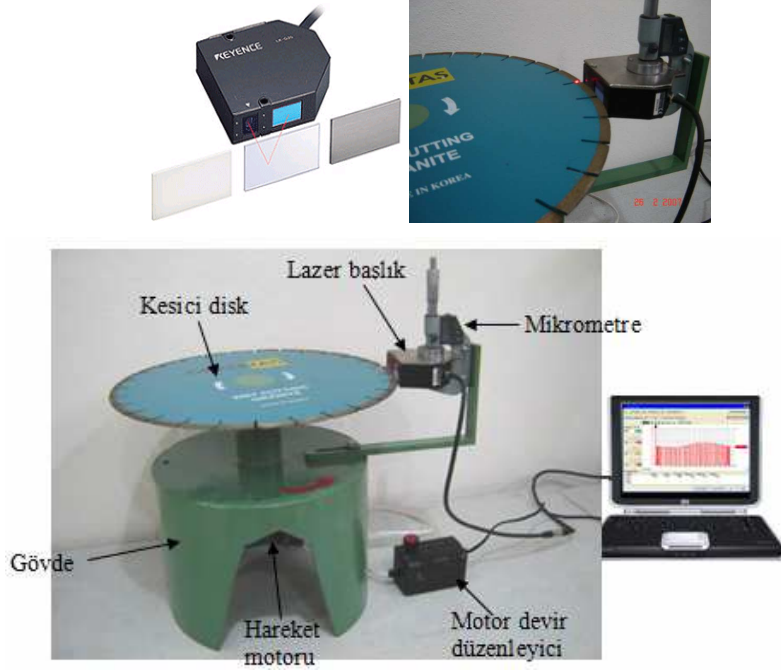


Resim 4.6 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan programın ara yüzü.

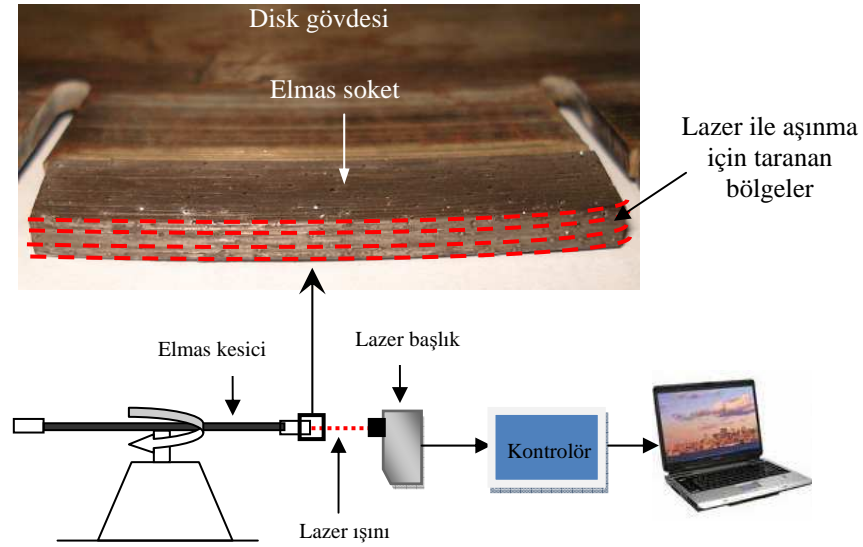
Sıcaklık ölçüm düzeneği ile birlikte elde edilen sonuçların daha iyi irdelenmesi için özellikle kuru kesme şartlarında FLIR marka bir termal kamera ile değişik ölçümler yapılmıştır.

4.3. Aşınma Denei Düzeneği

Elmas sokette meydana gelen aşınmaları belirlemek için KEYENCE Navigatör marka bir lazer ölçüm cihazı kullanılmıştır (Resim 4.7). Elmas soketlerde, çevre boyunca meydana gelen radyal aşınmalar belirlenmiştir. Bu amaçla tarafımızca tasarlanan bir düzenek kullanılmıştır (Resim 4.7). Aşınma deneylerinde kullanılan deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 4.5’de verilmiştir. Her yirmi deney sonrasında kesici disk tezgâh milinden sökülerek düzeneğe takılmıştır. Düzenekteki mil çapı tezgâhın mil çapı ile aynı olup diske tatlı sıkı olarak bağlanmaktadır. Disk dakikada bir tur yol alarak, lazer kafa ile soketler arasındaki mesafe ölçülmektedir. Deneylerin başlangıcında bu mesafe referans olarak ayarlanmış ve tüm ölçüler süresince değiştirilmemiştir. Yani her ölçümde sadece disk mile yerleştirilip bir tur yol alınarak ölçüm yapılmıştır. Ölçümler elmas soketin dört noktasından yapılarak değerler elde edilmiştir ve elde edilen bu değerlerin ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.



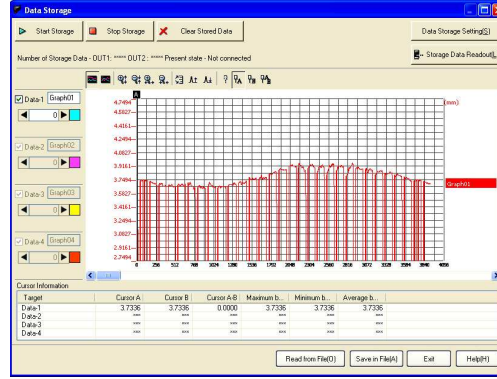
Resim 4.7 Soketlerde meydana gelen aşınmanın ölçümü için tasarlanmış düzenek.



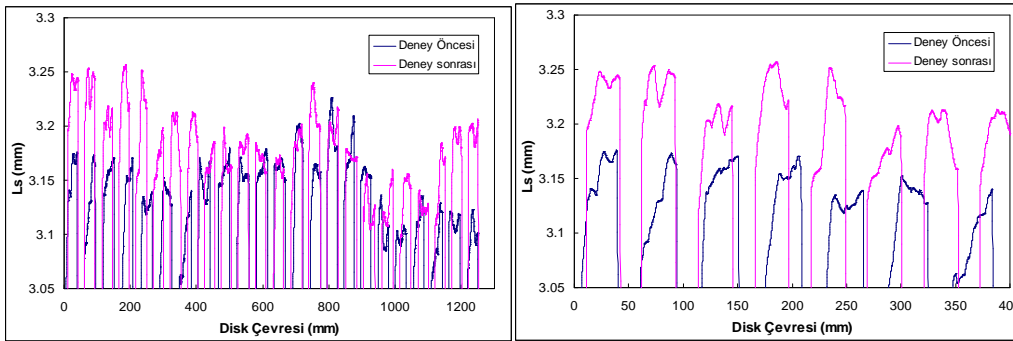
Şekil 4.5 Soket aşınmasının ölçülmesinde kullanılan deney düzeneğinin şematik görünümü.

Deney öncesinde kesici disk Resim 4.7’de verilen düzeneğe yerleştirilerek, lazer ünitesi ile disk arasındaki mesafenin ölçümü yapılmıştır. Aşınma ölçümlerinde kullanılan KEYENCE lazer cihazına ait program Resim 4.8’de verilmiştir. Bu işlem testere sabit hızda (2 dev/dk) bir tur yol aldırılmak suretiyle yapılmıştır. Bu toplam yol diskin

çevresine karşılık gelmekte ve 1256 mm 'dir. Şekil 4.6'da aşınma öncesi ve sonrasında alınan değerlerin karşılaştırmaları verilmiştir. Ls ise lazer ile soketler arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Dolayısıyla aşınmanın artması bu mesafenin de artması anlamına gelmektedir.



Resim 4.8 Lazer cihazında kullanılan programın ara yüzü.



a)

b)

Şekil 4.6 Elmas sokette meydana gelen aşınmanın gösterilmesi, a) Disk çevresi boyunca, b) Daha dar bir çevrede gösterimi.

4.4. Deney Parametreleri ve Elmas Kesici Diskin Özellikleri

Varyasyon ve performans testlerinde farklı kesme parametreleri dikkate alınmıştır. Deneylerde sadece Blue Pearl kullanılmış olup, bununla ilgili kesme parametreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Deneylerde, güvenilir ve doğru sonuçlar almak için her bir parametre üç kez tekrarlanmıştır. Varyasyon deneylerinde tek bir kesici disk (B1) kullanılmıştır. Aynı şekilde, farklı soğutma sıvıları ile yapılan kesme performans deneylerinde de B1 elmas kesici disk kullanılmıştır. Soğutma sıvıları olarak su, su-bor

yağı karışımı, su-sıvı sabun karışımı ve su-Ace-Cool 5679 karışımı tercih edilmiştir. Soğutma sıvıları %3 oranında suya karıştırılarak kullanılmıştır.

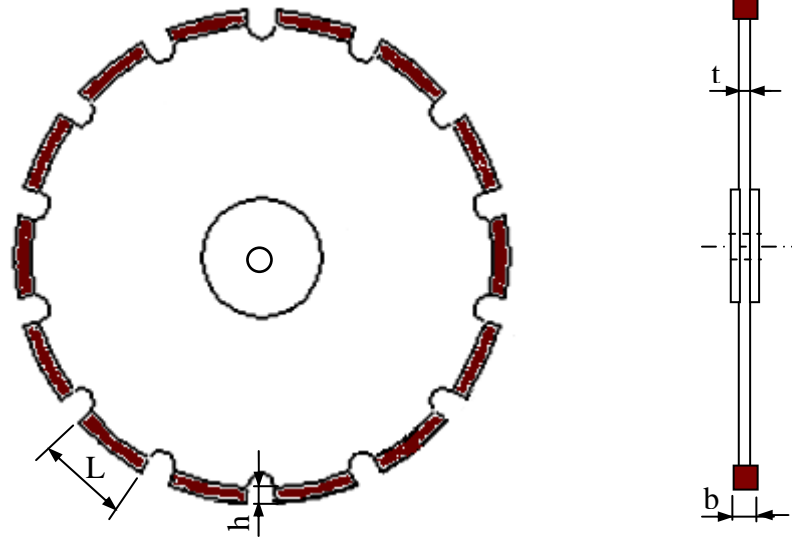
Çizelge 4.1 Varyasyon deneylerinde kullanılan kesme parametreleri.

İlerleme hızı (m/dk)	Kesme derinliği (mm)	Çevresel hız (m/sn)
0,3-0,4-0,5	20-30-40	30-35-40

Kesme performans deneylerinde ise, varyasyon testlerinde elde edilen sonuçlara göre tek bir parametre belirlenip performans testleri yapılmıştır. Performans testlerinde $Q_w = 180cm^2 / dk$ olup, buna bağlı olarak çevresel hız 30 m/sn, ilerleme hızı 0,6 m/dk ve kesme derinliği ise 30 mm olarak kabul edilmiştir. Her bir doğal taş ve disk için 20'şer deney yapılmıştır. Varyasyon ve performans testlerinde kullanılan kesici disklerin geometrik ve malzeme özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan bütün elmas kesicilerin çapı (D) 400 mm, testere genişliği (t) 2,5 mm, soket genişliği (b) 3,5 mm ve elmas soket boyu ise 40 mm'dir. Elmas kesici diskin geometrik özellikleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Kesme performans deneylerinde farklı elmas konsantrasyonu ve matriks yapısına sahip elmas soketler tercih edilmiştir. Bütün elmas kesicilerde elmas kalitesi olarak yüksek mukavemetli SDA +85 ve +100 elmas tanecikleri birlikte kullanılmıştır. Elmas tanecik boyutları ise 40-50 US Meshtir.

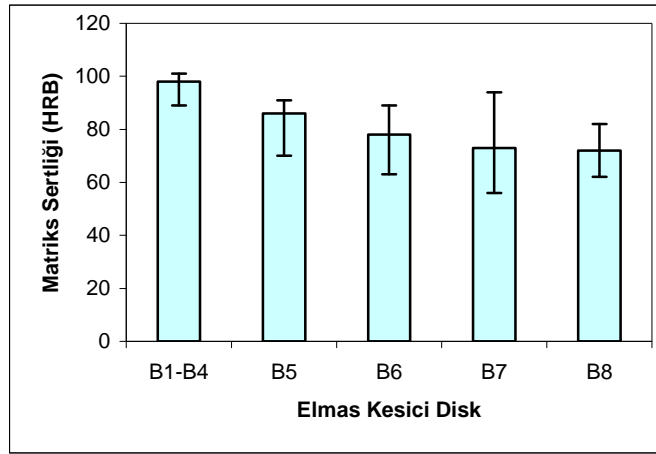
Çizelge 4.2 Deneylerde kullanılan elmas kesici disklerin özellikleri.

Elmas soket tipi	Matriks özelliği	Elmas konsantrasyonu	Diş sayısı	Elmas soket yüksekliği (h) mm
B1	%95(W-Co) %5 (Cu/Sn-Fe)	20	24	7,6
B2		13	28	6,9
B3		20	28	2,06
B4		28	28	7,5
B5	%80 (W-Co) %20 (Cu/Sn-Fe)	20	28	7,3
B6	%70 (W-Co) %30 (Cu/Sn-Fe)	20	28	7,92
B7	%45 (W-Co) %50 (Cu/Sn-Fe) %5 Ni	24	28	5,94
B8	%50 (W-Co) %50 (Cu/Sn-Fe)	20	28	9,16



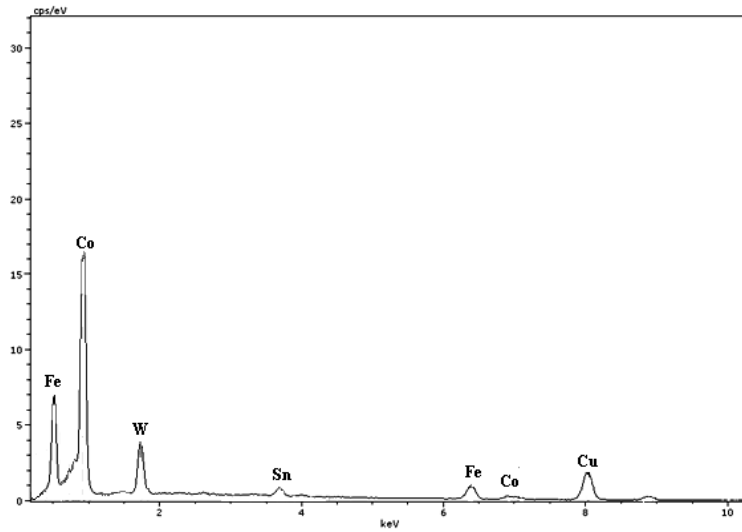
Şekil 4.7 Elmas kesici diskin geometrik özellikleri.

Elmas soketlerin matriks sertlikleri METTEST-HT marka bir sertlik ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri elmas taneciklerinden uzak olan bölgelerden sadece matriks yüzeyinden alınmıştır. Bir elmas soket için toplam 15 adet ölçüm yapılarak ortalama değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.8’de deneylerde kullanılan elmas kesici disklerle ait soketlerin sertlikleri verilmiştir. B1, B2, B3 ve B4 kesici disklerin matriks özellikleri aynı olduğu için grafiğin aynı sütununda yer verilmiştir ve en büyük sertliğe bu kesici elmas soketlerin sahip olduğu görülmüştür. Bütün kesici disklerin sertlik değerleri ortalama, maksimum ve minimum değerleri ile birlikte verilmiştir.



Şekil 4.8 Elmas Kesici disklerdeki soket matrisinin sertlikleri.

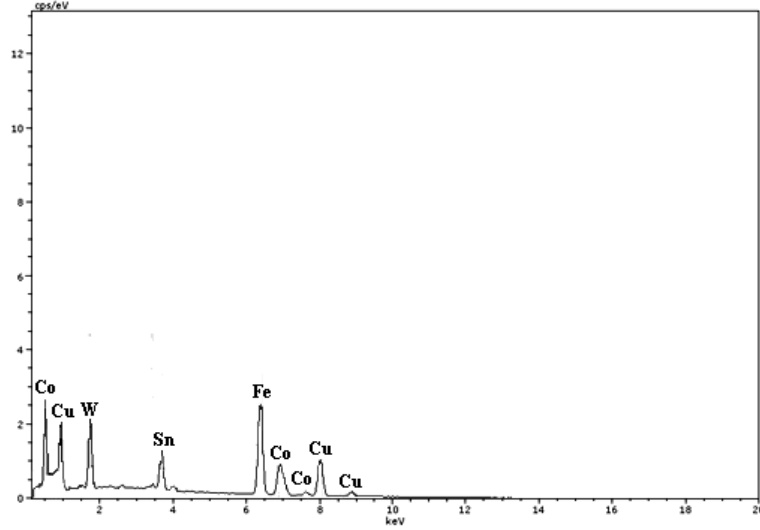
Elmas soketlerdeki matriks içerisinde bulunan elementler hakkında bilgi edinmek için EDS analizleri yapılmıştır. Şekil 4.9'da B1, B2, B3 ve B4 elmas soketlerin EDS analizleri verilmiştir. Şekil 4.9'a baktığımızda matriks içerisindeki baskın elementin W-Co bileşiminin olduğu görülmektedir. Co elementi ıslatabilme özelliği iyi olan bir bağ oluşturucudur. Tungsten (W) elementi elmas taneciklerin matriks içerisinde tutunabilirliğini artırmaktadır. Tungsten, elmastaki karbonu atomik düzeyde iyi bir bağlayıcı özelliğe sahip olduğundan, elmas ile tungsten ara yüzeyinde tungstenkarbür (WC) bir katman oluşur. Ayrıca bir elmas soket içerisinde bulunan W ve Co elementleri elmas soket sertliğini belirlemektedir. Cu-Sn bileşimi ise genellikle dolgu evresi için tercih edilir (Zeren 1999; Zeren ve Karagöz 2007) ve sinterleme koşullarında oluşan gözenekleri kapamak için kullanılır. Fe de, Cu-Sn gibi bağ amaçlı olarak kullanılabilir gibi, kolay ve ucuz olması sebebiyle dolgu elementi olarak da tercih edilmektedir. Elmas soketler içerisinde en fazla W-Co oranı B1, B2, B3 ve B4 elmas soketlerde bulunmaktadır.



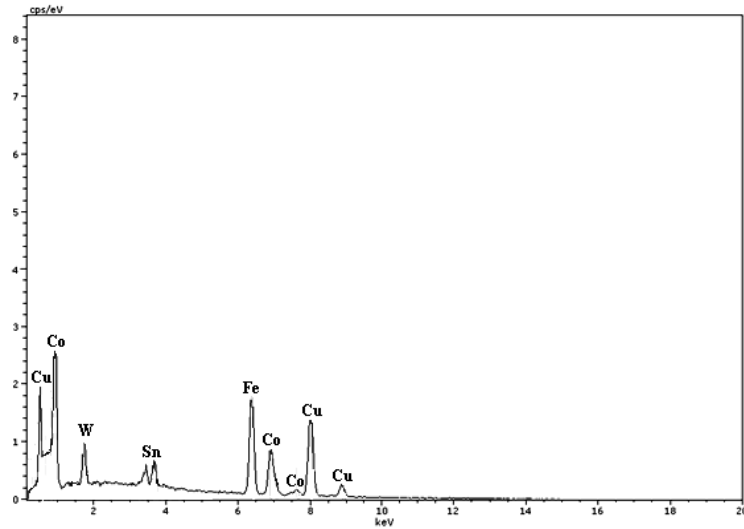
Şekil 4.9 B1, B2, B3 ve B4 elmas soketlerin EDS analizi.

B5 ve B6 elmas kesiciler için EDS analizleri Şekil 4.10 ve 4.11'de verilmiştir. Her iki elmas sokette (W-Co)-(Cu/Sn-Fe) elementlerinin kombinasyonlarından oluşmuştur. B5 ve B6 elmas kesicilerde hemen hemen aynı elementler olsa da, aralarındaki karşımın oranları ile birbirinden ayrılmaktadır. Burada, B5 elmas soketin W-Co oranı, B6 elmas

sokete göre yaklaşık %10 daha fazladır. Bu fark elmas soket sertliğini etkilemekte ve B5 elmas kesici soketin sertliği, B6 ya göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.8).

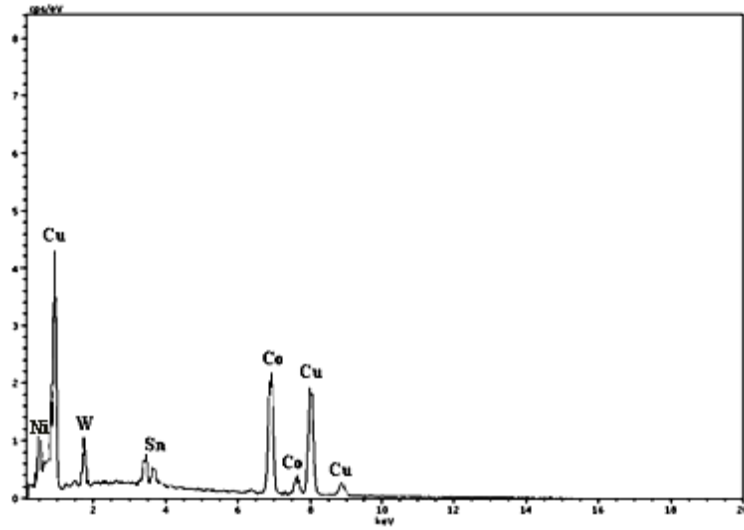


Şekil 4.10 B5 elmas soketin EDS analizi.



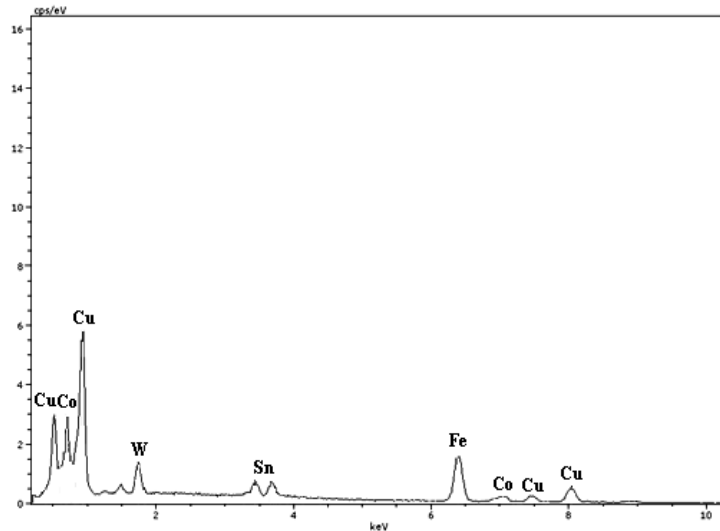
Şekil 4.11 B6 elmas soketin EDS analizi.

B7 elmas sokete ait EDS analizi Şekil 4.12'de verilmiştir. B7 elmas soket (W-Co)-(Cu/Sn-Fe-Ni) elementlerinden oluşmuştur. Elmas soketteki baskın bileşimin Cu/Sn olduğu söylenebilir. Cu/Sn elementinin fazlalığı elmas soket sertliğinin azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.12 B7 elmas socketin EDS analizi.

B8 elmas socketlere ait EDS analizi Şekil 4.13’de verilmiştir. B5 ve B6 elmas socketlere benzer şekilde B8 elmas sockette (W-Co)-(Cu/Sn-Fe) elementlerinden oluşan bileşim kullanılmıştır. Fakat bu socketlerden farklı olarak özellikle Cu/Sn elementleri socket içerisinde yüksek oranda bulunmaktadır. En yüksek Cu/Sn bulunan socketlerden birisidir. Bu da elmas socket sertliğini etkilemiştir. Bu socketlerdeki karışımlar kesilecek olan doğal taşların mineralojik özelliklerine bağlı olarak deneme yapılarak seçilmiştir.



Şekil 4.13 B8 elmas socketin EDS analizi.

Sıcaklık ölçümlerinde ise özel olarak tasarlanmış testere (20 Konsantrasyon, 28 socket, 40-50US Mesh, SDA+85,+100) ve iki farklı granit türü kullanılmıştır. Deneyler, kuru şartlarda ve su kullanılarak gerçekleştirmiştir. Çizelge 4.3 deki deney parametreleri ele

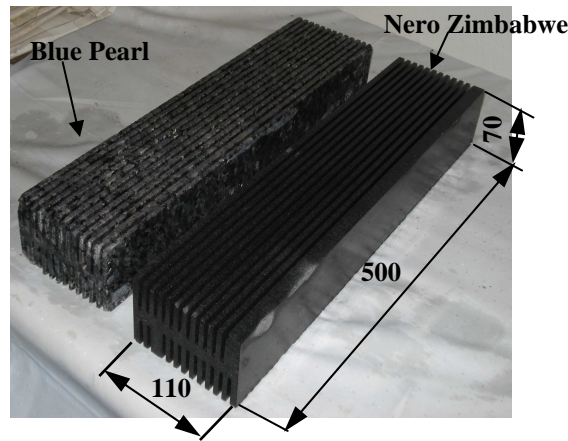
alınmıştır. Ayrıca, sıcaklık ölçüm deneylerinde su debisinin soket sıcaklığı üzerindeki etkisini görmek için; 2, 4, 8, 15 lt/dk olmak üzere dört farklı su debisi kullanılmıştır. Elmas soket sıcaklığını etkin bir şekilde görmek ve su faktörünü ortadan kaldırmak için kuru kesme yapılmıştır. Kuru kesmede elmas soketin büyük zorlanmalara maruz kalabileceğinden dolayı daha sığ kesme derinlikleri seçilmiştir. Su kullanarak yapılan kesme işlemlerinde kullanılan parametreler ise Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan kesme parametreleri.

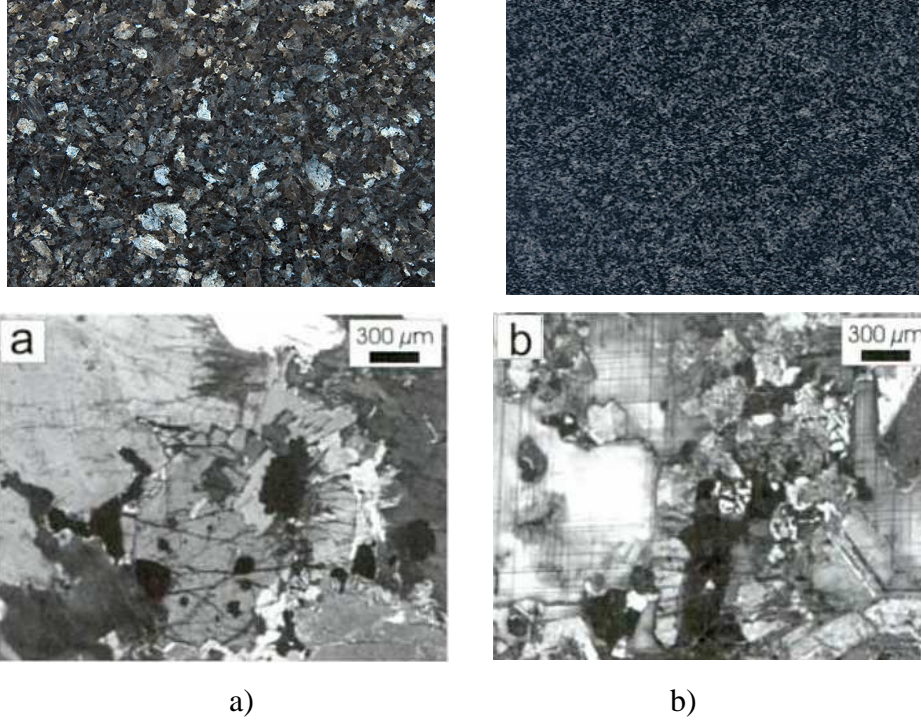
Kesme koşulu	İlerleme hızı (m/dk)	Kesme derinliği (mm)	Çevresel hız (m/sn)
Kuru	0,4-0,5-0,6	2-5-10	30-35-40

4.5. Deney Numunelerinin Mekanik ve Malzeme Özellikleri

Kesme deneylerinde kullanılan deney numunelerinin boyutları 70 X 110 X 500 mm dir. Resim 4.9’da deneylerde kullanılan Blue Pearl ve Nero Zimbabwe’ye ait numuneler verilmiştir. Bu boyutlardaki numuneler dinamometre üzerine rijit bir şekilde bağlanmıştır. Deneylerde, Blue Pearl ve Nero Zimbabwe olmak üzere iki farklı granit türü kullanılmıştır. Granitlere ait görüntüler Resim 4.10’da verilmiştir. Blue Pearl’ün diğer doğal taşta göre daha iri taneli olduğu görülmektedir. Çizelge 4.4’de granitlere ait minerolojik özellikler verilmiştir.



Resim 4.9 Deneylerde kullanılan doğal taşların kesildikten sonraki görüntüsü (birim mm).



Resim 4.10 Deneylerde kullanılan granit türü kayaçların görüntüsü a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.

Çizelge 4.4 Granitlerin minerolojik özellikleri (Büyüksağış ve Göktan 2007).

Doğal taş Tipi	Mineraller	Oran (%)	Doku, Yapı ve Tane Şekli
Nero Zimbabwe	Orthoklas Plagioklas Piroksen Opaq	10.3 44.0 44.0 1.5	Poikilitik, interlocking, ince taneli, köşeli, oldukça şekilsiz ve yarı şekilli kristaller, sınırları sıkı taneler.
Blue Pearl	Anorthoklas Biotit Piroksen	86.0 7.0 7.0	Plutonik, monomineralik, phaneritik, iri taneli, uniform yapılı

Deneylerde kullanılan doğal taşların fiziko mekanik testleri Afyon Kocatepe Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu bünyesinde bulunan Kaya Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan doğal taşların fiziko mekanik özellikleri Çizelge 4.5 de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Granitlerin fiziko-mekanik özellikleri.

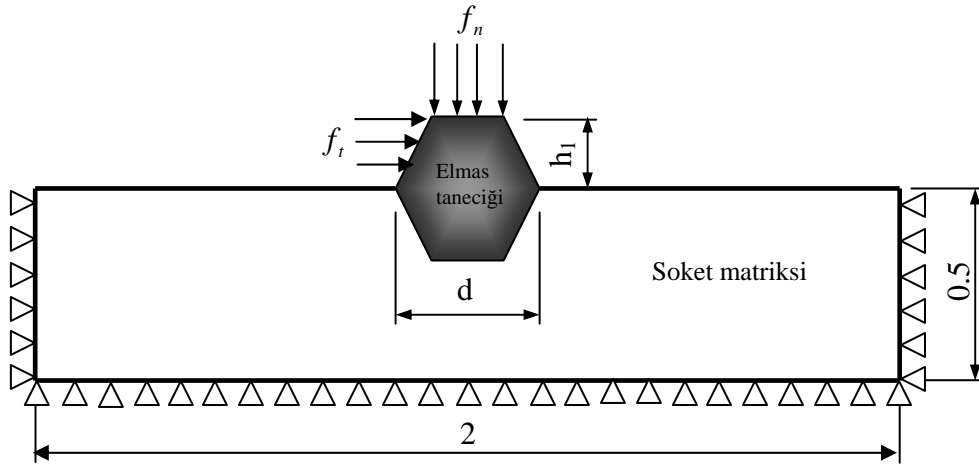
	Blue Pearl	Nero Zimbabwe
Porozite (%)	0.47	0.01
Yoğunluk (g/cm ³)	2.59	3.05
Basma Dayanımı (MPa)	150.4	172.00
Çekme Dayanımı (MPa)	12.50	8.70
Eğilme Dayanımı (MPa)	16.90	27.10
Schmidt Sertlik İndeksi	71.70	62.80
Cerchar Aşınma İndeksi	6.07	4.27
Ortalama tane boyutu (mm)	20-40	0.85-0.50

4.6. Elmas Taneciğinin Sonlu Elemanlar Modeli

4.6.1. Elmas Tanecik ve Matriksin Geometrik Modeli

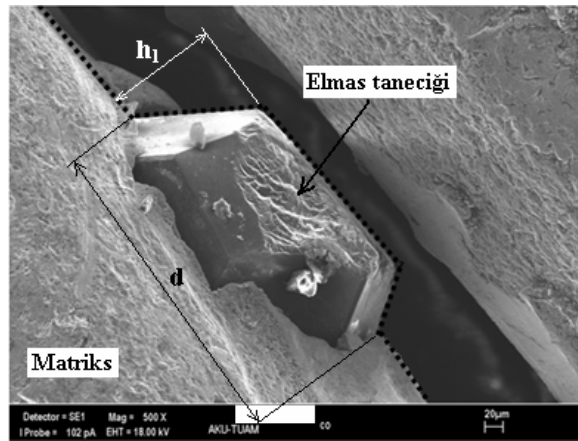
Kesme esnasında elmas tanecik üzerine etkiyen normal ve teğetsel kuvvetlerin bir sonucu olarak meydana gelen gerilmelerin analizi yapılarak muhtemel hasar bölgeleri tahmin edilmiştir. Bilindiği gibi normal ve teğetsel kuvvetler kesici disk üzerindeki soketlerin tümüne etki etmektedir. Tek bir elmas tanecik üzerine etki eden kuvvetleri belirlemek için deneylerde kullanılan elmas kesici diskler üzerindeki aktif olan bütün elmas tanecikler 250X büyütme mikroskop yardımıyla belirlenmiştir. 30mm kesme derinliği göz önüne alınarak, kesme esnasında her bir elmas taneciğine etkiyen yaklaşık normal ve teğetsel kuvvetler tespit edilmiştir. Tek bir elmas tanecik üzerine etki eden kuvvetlerin belirlenmesine yönelik denklem (3.15) ve (3.16) da verilen matematiksel ifadelerden yararlanılmıştır. Bu denklemler kullanılarak, elmas kesici için tek bir elmas tanecik üzerine etki eden teğetsel ve normal kuvvetler yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Yapılan analitik çözümler neticesinde tanecik üzerine etkiyen maksimum normal kuvvet 1.135 N ve maksimum teğetsel kuvvet ise 0.27 N olarak hesaplanmıştır. Kuvvetler bir elmas tanecik üzerine yayılı kuvvet olarak Şekil 4.14'de verildiği gibi uygulanmıştır. Şekil 4.14'de elmas tanecik ve soket matriksinin geometrik

özellikleri ile sınır koşulları verilmiştir. Soket matriks boyu ve yüksekliği sabit alınmıştır.



Şekil 4.14 Elmas tanecik ve soket matriksinin geometrik modeli ve sınır koşulları (birim mm).

Matriks boyu MICROCAM isimli bir image analiz programı ile belirlenmiştir. İki boyutlu modelin belirlenmesinde gerçek çalışma koşulları ile elde edilen SEM görüntüsü dikkate alınmıştır. Şekil 4.15’de elmas taneciğinin kesitteki görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.15 Elmas taneciğinin kesitteki görüntüsü.

Analizlerde elmas boyutu ve elmas yüksekliği değişken olarak alınmıştır. Soket ve elmas taneciğinin geometrik özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Elmas boyutu olarak, deneylerde kullanılan soketlerdeki elmas tanecik ölçüleri dikkate alınmıştır. Çizelge

3.2’de verilen 40-50 US Mesh elmas tanecik boyutları 0,280 ile 0,375 mm arasında değişmektedir.

Çizelge 4.6 Soket ve elmas taneciğın geometrik özellikleri.

Elmas tanecik yüksekliği h1 (mm)						Elmas tanecik boyutu d (mm)			
0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,25	0,3	0,35	0,4

Sonlu elemanlar modelinde, elmas taneciği ve soket matriksi olmak üzere iki farklı malzeme türü kullanılmıştır. Bu malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 4.7’de verilmektedir. Deneysel çalışmalarda sekiz farklı elmas soket kullanılmıştır. Bu soketlerin her biri farklı oranlarda elementlere sahip olduğundan farklı mekanik özellikler sergileyecektir. Analizlerde, W-Co oranı yüksek elmas soketin mekanik özellikleri tercih edilmiştir.

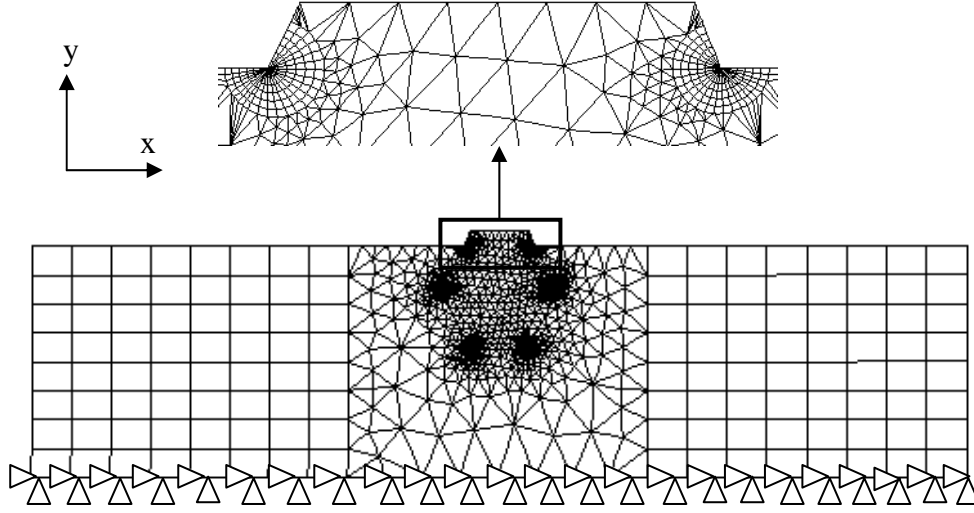
Çizelge 4.7 Soket ve elmas malzemelerinin mekanik özellikleri (Upadhyaya 1998; Konstanty 2003; Hu vd. 2004; Hu vd. 2003).

	Elastisite modülü, E, (GPa)	Poisson oranı, ν	Yoğunluk (kg/m^3)
Elmas	1150	0.0691	3500
Soket matriksi	560	0,25	8100

4.6.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Mesh Yapısı

Boyut özellikleri belirlenen problemin geometrisini oluşturmak için CASCA programı kullanılmıştır. CASCA, analizleri yapacağımız programın altında çalışan ve sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında kullanılan bir programdır. CASCA’da problemin geometrisi ve mesh yapısı oluşturulduktan sonra, Franc 2DL programında sonlu eleman çözümleri gerçekleştirilmiştir (İnt.Kyn.1). Elmas tanecik ve soket matriksi olmak üzere iki farklı malzemenin sonlu elemanlar modeli Şekil 4.16’da verilmiştir. Sonlu elemanlar modelinde üçgen ve dörtgen elemanlar birlikte kullanılmıştır. Elmas tanecik bölgesinde üçgen altı düğümlü elemanlar kullanırken, matriksin bir bölümü ve elmas taneciğin köşe noktalarında izoparametrik sekiz düğümlü dörtgen elemanlar kullanılmıştır. Model iki boyutlu düzlem gerilme şartlarında modellenmiştir. Şekil 4.16’da görüldüğü gibi,

elmas ve matriksi bağlayan köşe noktaları için daha yoğun bir mesh yapısı oluşturmuştur. Bunun nedeni ise elmas ile matriks ara yüzeyinde önemli gerilme yoğunluğunun oluşmasıdır. Bunun sonucunda muhtemel kırılma ve çatlak oluşumları bu bölgede başlayacaktır. Problemin sonlu eleman modeli 5346 düğüm 2259 elemandan oluşmaktadır.



Şekil 4.16 Elmas tanecik ve matriksin sonlu elemanlar modeli.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Varyasyon Deneyleri

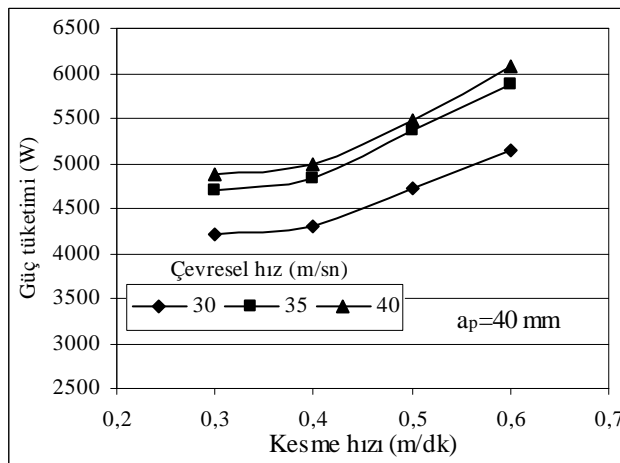
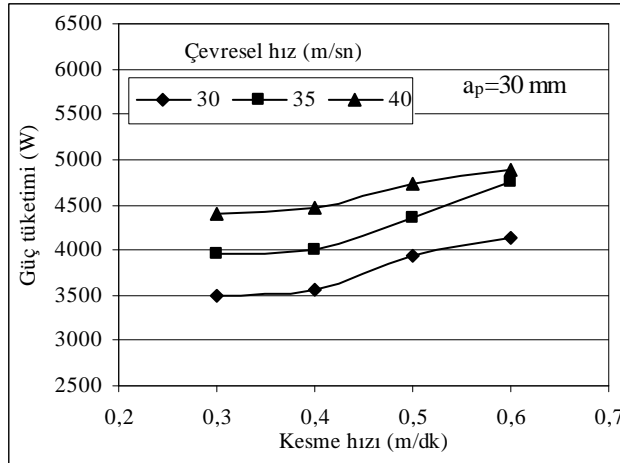
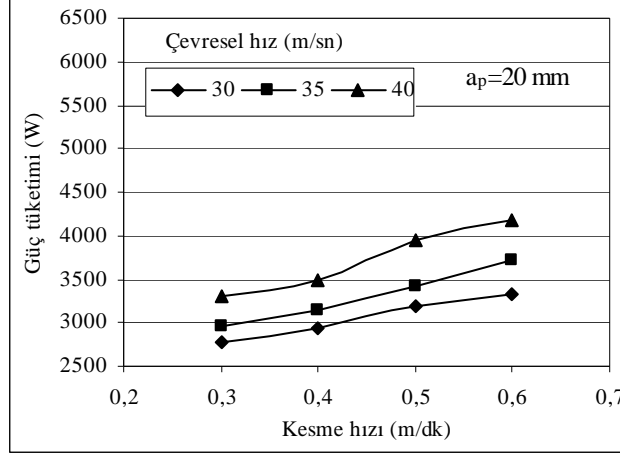
Optimum kesme parametrelerin belirlenmesi için farklı kesme parametrelerde varyasyon deneyleri yapılmıştır. Varyasyon deneyleri oldukça zaman alıcı ve çok sayıda numuneye ihtiyaç duymaktadır. Aynı grup doğal taş olan Blue Pearl ve Nero Zimbabwe granitlerinin her ikisi için varyasyon deneylerini yapmak yerine sadece Blue Pearl için varyasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden sonra her iki doğal taş için kesme performans deneylerinde kullanmak üzere optimum kesme parametreleri elde edilmiştir. Varyasyon deneylerinde her bir parametre üçer kez tekrarlanmıştır. Deneylerde, güç tüketimi, kesme kuvvetleri, spesifik enerji, gürültü değerleri elde edilmiştir. Varyasyon deneylerinde B1 elmas kesici disk kullanılmıştır.

5.1.1. Güç Tüketiminin Belirlenmesi

Kesme deneylerinde güç tüketim değerlerini belirlemek için enerji analizörü kullanılmıştır. Deneylerde 500 mm kesme boyunca güç tüketim değerleri kesici diskin bağlı olduğu motordan alınmıştır. Bu değerler elmas soketlerin kesme esnasında ne kadar güç tükettiğini göstermektedir. Bu durum özellikle elektrik enerjisi sarfiyatını doğrudan etkilemektedir. Düşük kesme derinliğinde makine çok fazla zorlamamakla birlikte, kesme hızının artması ile gücün de arttığı görülmektedir. Aynı zamanda, ilerleme hızının artması ile güç önemli ölçüde artmaktadır. Farklı çevresel hız ve kesme derinliklerinde, kesme hızına bağlı güç tüketiminin değişimi Şekil 5.1’de verilmiştir.

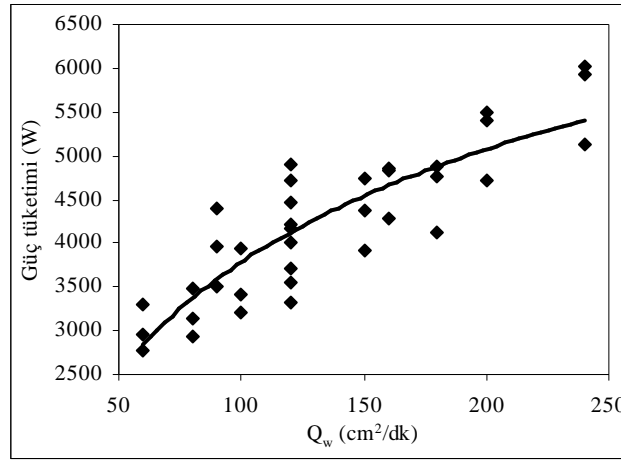
Yüksek çevresel hızlardaki kesme işleminde daha büyük güç tüketimi görülmektedir. Bu durumda makine daha çok zorlanmakta ve büyük enerji tüketimi söz konusu olmaktadır. Ayrıca, zorlanan testere daha fazla kuvvetlere maruz kalacak ve sonuçta soket aşınmasını da önemli ölçüde etkileyecektir. Güç tüketimini etkileyen en önemli parametre kesme derinliğidir. Kesme derinliğinin artması güç tüketimini daha çok artırmaktadır. Sabit bir kesme hızı ve çevresel hız durumunda derinliği 20 mm den 40 mm ye çıkması ile güç tüketiminde % 50 lik bir artış olmaktadır. Gücün değişiminde

kesme hızı ve çevresel hızın etkisi benzer seviyededir. Kesilen granitin mağmatik türü bir doğal taş olması ve iri tanelere sahip olması kesimi zorlaştırmakta ve bunun sonucu olarak makine daha fazla güç harcamaktadır (Cassapi 1987).



Şekil 5.1 Güç tüketiminin çevresel hız ve kesme derinliğine bağlı değişimi.

Kesme derinliğinin artması birim zamanda kesilen granit miktarının artmasına katkıda bulunurken, daha fazla enerji tüketimine neden olacaktır. Şekil 5.2’de güç tüketiminin birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi verilmiştir. Özellikle kesimi zor olan doğal taşlarda, birim zamandaki kesme miktarının (Q_w) artırılması için kesme derinliğini arttırmak yerine, kesme hızının artırılması daha uygun olacaktır. Çünkü kesme derinliğinin artması daha fazla güç tüketimine sebep olmaktadır. Sabit kesme hızında çevresel hızın artması, birim zamanda soket başına düşen iş miktarını azaltsa da, enerji tüketimini artırmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda anlık değerler yerine, toplam enerji tüketimleri dikkate alındığından, motor dönüş hızına bağlı güç artışları önemlidir.

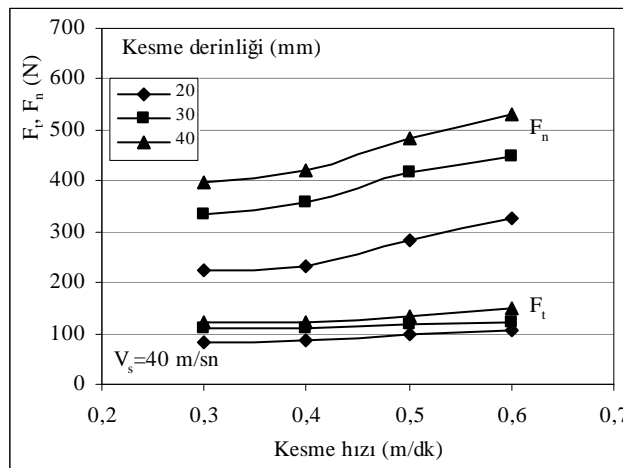
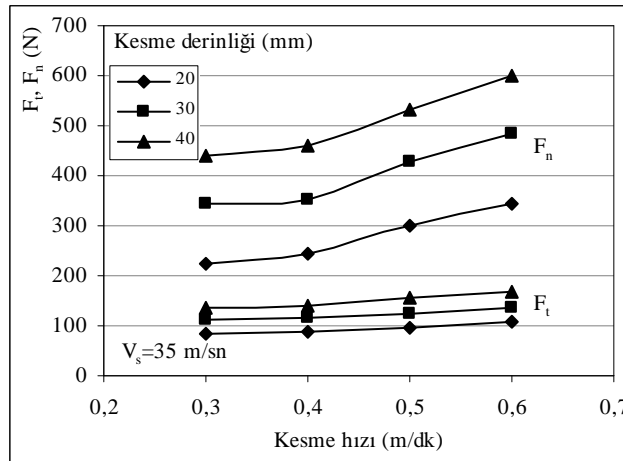
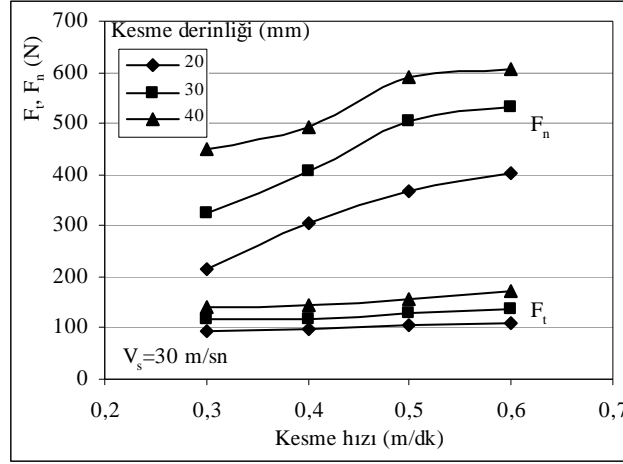


Şekil 5.2 Güç tüketiminin birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.

5.1.2. Kesme Kuvvetleri

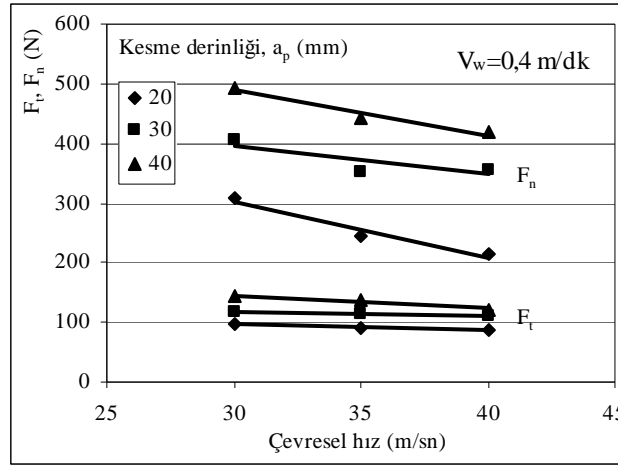
Şekil 5.3’de teğetsel ve normal kuvvetlerin kesme derinliğine ve çevresel hıza bağlı değişimi verilmiştir. Bütün kesme şartlarında testere ekseninde oluşan F_n kuvvetleri, buna dik oluşan F_t kuvvetlerinden daha büyüktür. Kesme hızı ve kesme derinliğinin artması ile F_t ve F_n kuvvetleri önemli ölçüde artmıştır. Kesme derinliklerindeki bu artışlar yüksek kesme hızlarında daha belirgin olmaktadır. Kesilen doğal taşın sert ve iri tane yapısına sahip olması F_n kuvvetlerini önemli ölçüde artırmaktadır. Normal kuvvet kesici diskin kesme derinliğinde elde edilen kuvvettir. Teğetsel kuvvet ise, kesici diskin kesme doğrultusunda elde edilmektedir. F_t kuvveti, F_n kuvvetine göre daha düşüktür. Doğal taşın iri taneli olması kesici diskin kesme doğrultusunda ilerlemesini etkilemekte ve bunun sonucu olarak daha büyük kuvvetler elde edilmektedir. F_t ve F_n kuvvetlerindeki en büyük artış kesme derinliğinin artmasıyla meydana gelmiştir. Aynı

kesme hızı ve çevresel hızlarda, kesme derinliğinin 20 mm den, 30 mm'ye çıkması durumunda kuvvet %32 oranında artarken, ilerleme hızının artışında bu oran daha düşük değerlerde kalmaktadır.



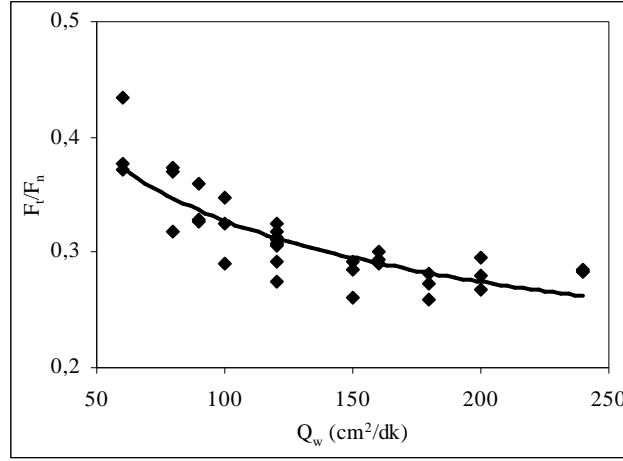
Şekil 5.3 Teğetsel ve normal kuvvetlerin kesme derinliğine ve çevresel hıza bağlı değişimi.

Kesme derinliği ve kesme hızının artışı F_t ve F_n kuvvetlerini artırırken, çevresel hızın artmasında ise kuvvetler lineer bir şekilde azalmaktadır. Şekil 5.4’de F_t ve F_n kuvvetlerinin çevresel hıza bağlı olarak değişimi verilmiştir. Çevresel hızın artmasına bağlı olarak, bir soket başına bir turda kesmesi gereken hacim miktarı düşmekte ve bunun sonucu olarak daha az kuvvet etki etmektedir. Çevresel hız artışlarında dinamometrelerle ölçülen yüklerde azalma görülürken, motorun hız artışına bağlı olarak tükettiği enerjide artış gözlemlenmiştir (Şekil 5.1).



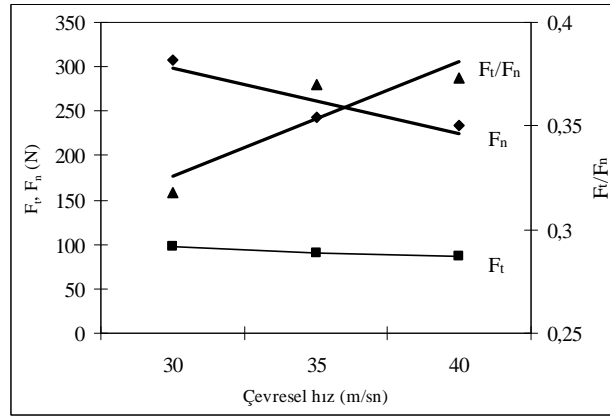
Şekil 5.4 Teğetsel ve normal kuvvetlerin kesme derinliğine bağlı değişimi.

Sığ kesme işlemlerinde F_t/F_n oranı sürtünme kuvvetini verirken, büyük kesme derinliklerinde ise bu oran diskin talaş kaldırma durumunu göstermektedir. Kesme işleminin zorluğunu ifade etmektedir. Kesme işlemini daha iyi değerlendirmek için F_t/F_n kuvvet oranının birim zamanda kesilen doğal taş miktarına göre belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 5.5’de F_t/F_n ile birim zamanda kesilen doğal taş miktarının değişim grafiği verilmiştir. Burada, birim zamanda kesilen doğal taş miktarının artışına bağlı olarak F_t/F_n oranı azalma eğilimi göstermekte ve belirli bir Q_w değerinden sonra yatay hale gelmektedir. Dolayısıyla yüksek kesme derinliklerinde kesici disk derinliğini koruyabilmesi için daha fazla çaba harcamaktadır. F_t/F_n oranının azalması ile elmas soketin temas alanının arttığını göstermektedir. Endüstriyel uygulamalarda çevresel hız sabit alınmakta, kesme derinliği ve kesme hızı değiştirilmektedir. Bundan dolayı birim zamanda kesilen doğal taş miktarı önemlidir. Şekle bakıldığında, yüksek verim için kesme aralığı 180-240 cm²/dk alınması önerilebilir.



Şekil 5.5 F_t/F_n oranlarının birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.

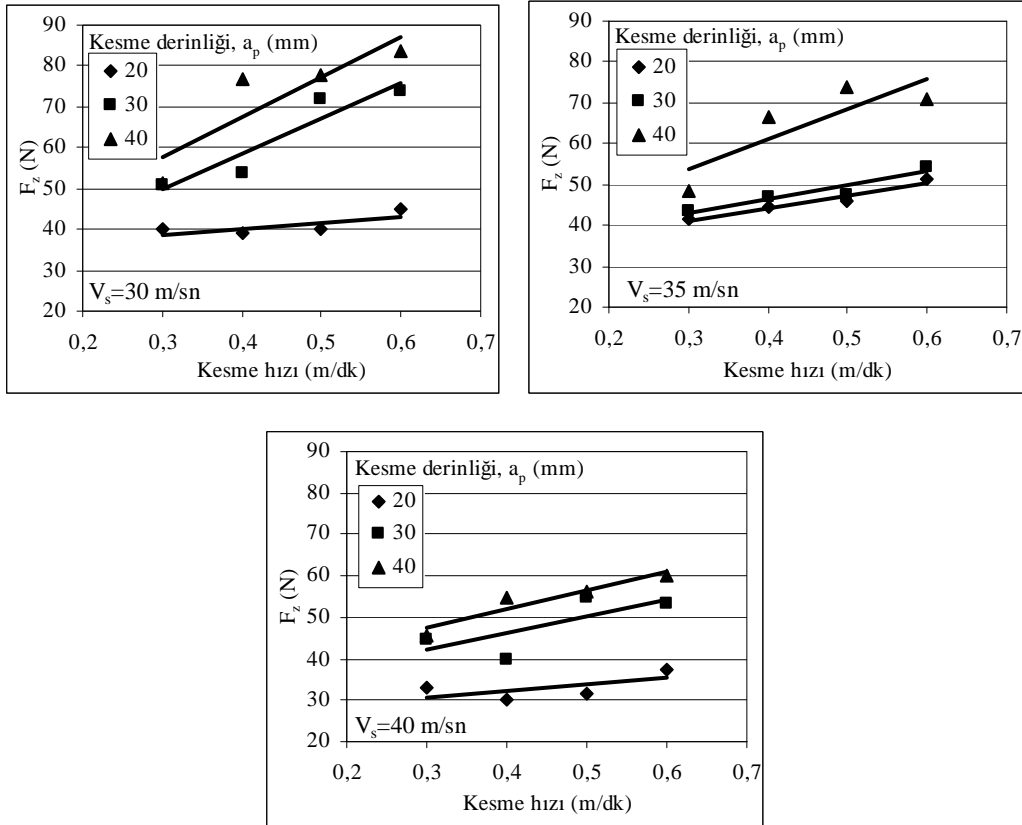
Şekil 5.6'da teğetsel kuvvet, normal kuvvet ve kuvvet oranları birlikte verilmiştir. Çevresel hızın artışı ile teğetsel kuvvet belirli bir miktar düşmesine karşın, normal kuvvetlerdeki düşüş daha fazladır. F_n kuvvetinin bu hızlı düşüşü ile kesme işlemi daha kolaylaşmaktadır. Bu kesme kolaylığı kesici diskin ilerleme doğrultusunda olmayıp, kesme derinliğinde daha rahat talaş kaldırmasını göstermektedir. Bu durumda F_t/F_n oranı önemli ölçüde artmıştır. Kuvvet oranlarının artması ile kesme işleminde doğal taş ile elmas soket arasındaki temasın daha da azaldığını söylenebilir.



Şekil 5.6 Farklı çevresel hızlarda kesme kuvvetleri ve kuvvet oranının karşılaştırılması.

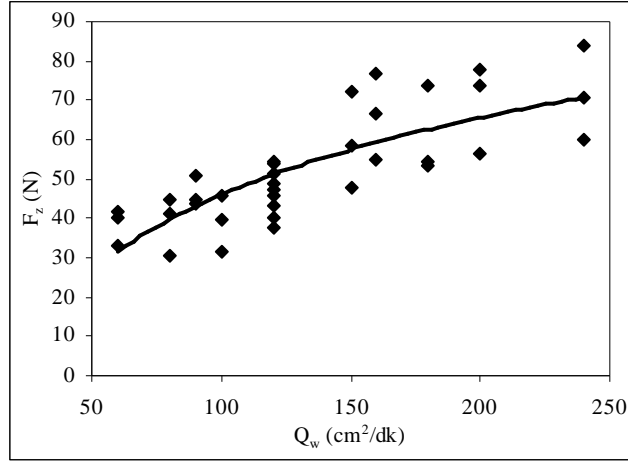
Kesme işleminde kesme yönünde etkili olan F_t ve F_n kuvvetlerinin yanında yanal kuvvetler diskin performansını etkilemektedir. Kesme işleminde F_z kuvvetleri, testere üzerine gelen yanal kuvvetlerdir. Kesme esnasında sağa veya sola yönlendiğinde F_z kuvvetleri (+) veya (-) olabilmektedir. F_z kuvvetleri testere hareketinin hep aynı

doğrultuda ilerlediğinin göstergesi olabilir. F_z kuvvetleri, kesme parametreleri, kesilen doğal taşın ve elmas soketin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. F_z kuvvetlerinin çok büyük elde edilmesi, F_t ve F_n kuvvetlerini etkilemekte ve bunun sonucu olarak elmas soketin aşınma davranışları değişmektedir. Kesme parametrelerine bağlı olarak F_z kuvvetlerinin değişimi Şekil 5.7’de verilmiştir. F_z kuvvetlerinin belirlenmesinde etkili parametre kesme derinliğidir. Kesme derinliğinin artması F_z kuvvetlerini önemli ölçüde artırmaktadır. Maksimum F_z kuvveti 40 mm lik kesme derinliğinde elde edilmiştir. Kesme hızının artması da F_z kuvvetlerini artırmakta ve bu artış büyük kesme derinliklerinde daha belirgin olmaktadır. Çevresel hızın artışı ise, F_z kuvvetlerini belirli bir oranda azaltmaktadır. Bu azalma yüksek çevresel hızlarda kesici diskin daha sabit kaldığını göstermektedir. Çevresel hızın artışı ile F_t ve F_n kuvvetlerdeki azalmanın F_z kuvvetlerine de yansıdığı görülmektedir.



Şekil 5.7 Kesme derinliği ve çevresel hıza bağlı F_z kuvvetlerinin değişimi.

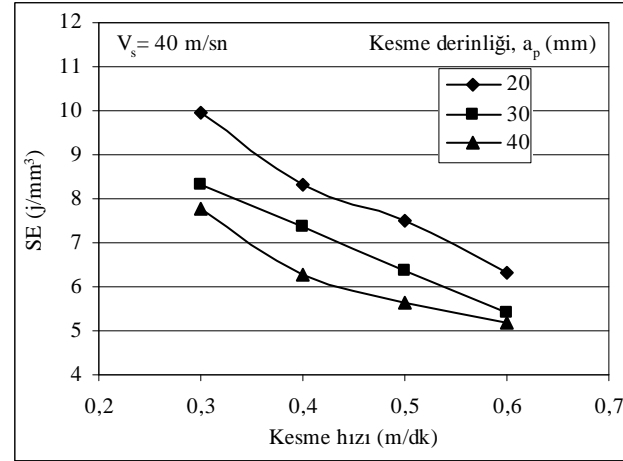
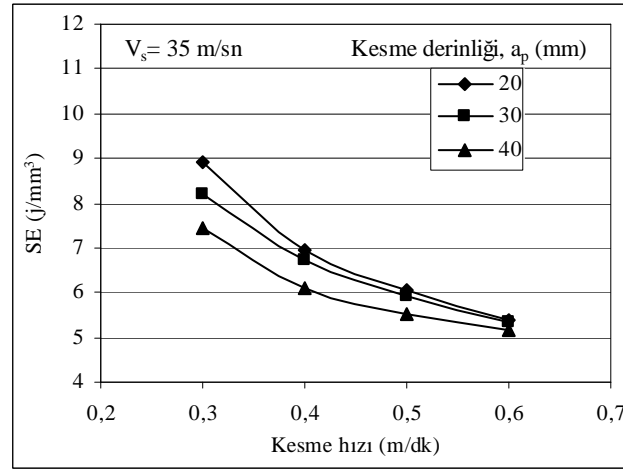
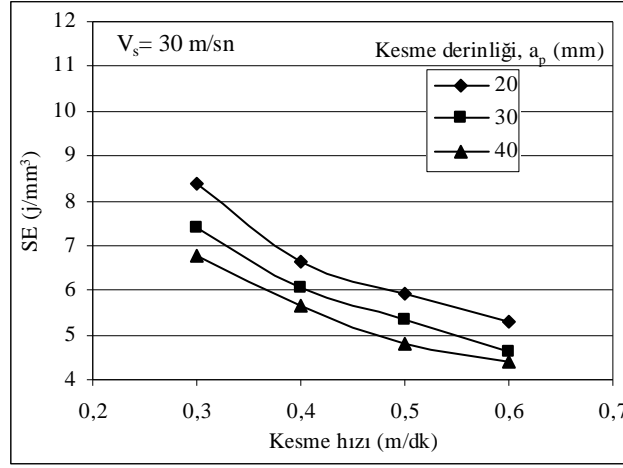
Şekil 5.8’de birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı olarak F_z kuvvetinin değişimi verilmiştir. Birim zamanda kesilen doğal taş miktarının artması ile F_z kuvvetleri önemli ölçüde artmaktadır.



Şekil 5.8 Kuvvet oranlarının birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.

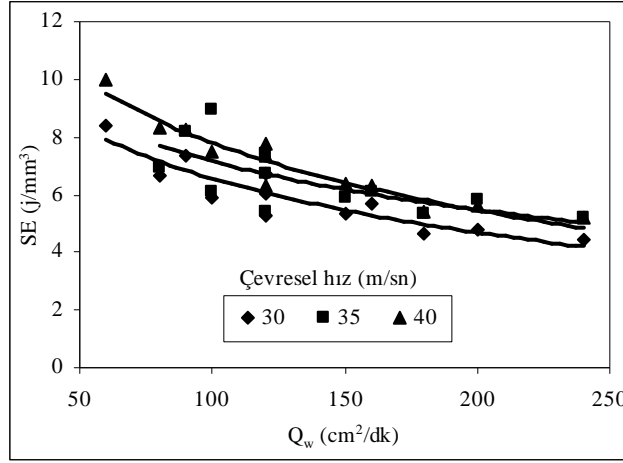
5.1.3. Spesifik Enerjinin Belirlenmesi

Doğal taş kesme işleminde kesme verimliliğinin belirlenmesinde en önemli kriterlerden bir tanesi Spesifik Enerjidir (SE). Spesifik enerji; doğal taşın birim zamanda birim hacmini kesmek için gerekli enerji miktarını ifade etmektedir. Kesme işlemlerindeki spesifik enerji değerleri güç tüketimine bağlı olarak denklem (3.24) ile hesaplanmıştır. Şekil 5.9'da spesifik enerjinin kesme derinliğine ve çevresel hıza bağlı değişimi verilmiştir. Kesme hızının artışı ile spesifik enerji düşmektedir. En küçük kesme hızı değerinde spesifik enerji değeri maksimumdur. Bu durum verimsiz bir kesme koşulunu göstermektedir. Bütün çevresel hızlarda kesme hızının artması ile spesifik enerji değerleri azalmaktadır. En küçük spesifik enerji değeri, en küçük çevresel hız, en büyük kesme derinliği ve kesme hızı değerlerinde elde edilmiştir. Kesme derinliğinin artması daha az spesifik enerjiye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Sonuçta, kesme derinliğinin artması ile birim zamanda daha fazla doğal taş hacmi kesilmektedir.



Şekil 5.9 Spesifik enerjinin kesme derinliğine ve kesme hızına bağlı olarak değişimi.

Şekil 5.10'da ise birim zamanda kesilen doğal taş miktarının artışına bağlı olarak SE değerinin hızla düştüğü görülmektedir. Çevresel hızın artması birim zamanda soket başına düşen talaş miktarını azalttığından, verimli bir kesme işlemi gerçekleşmiştir.



Şekil 5.10 Spesifik enerjinin farklı çevresel hızlarda birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı olarak değişimi.

Çevresel hızın artması ise motorun daha fazla enerji tüketmesine sebep olmaktadır. Sığ kesme derinliği ve düşük üretim hızlarında verimsiz bir kesim ortamı oluşurken, yüksek kesme derinliklerinde ve yüksek üretim hızlarında daha verimli kesim yapıldığını göstermektedir. Bu nedenle minimum maliyet ile maksimum üretimi gerçekleştirebilmek için optimum bir aralığın belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Spesifik enerji değerinin düşmesi daha verimli bir kesme işlemini göstermektedir. Şekil 5.10'a baktığımızda en düşük spesifik enerji değerlerinin 180-240 cm²/dk ve çevresel hızın da 30 m/sn olduğu görülmüştür. Birim zamanda kesilen doğal taş miktarı olan 180-240 cm²/dk arasındaki bütün kesme parametrelerinin optimum değerler olduğunu söylenebilir.

5.1.4. Gürültünün Ölçülmesi

Kesme esnasında kullanılan suyun gürültüye etkisi yaklaşık 1-2 dB civarındadır. Bu sonuçtan suyun gürültüye olan etkisinin fazla olmadığı görülmüştür. Kesme deneylerinden önce, makinenin ve kesici diskin gürültü değerleri elde edilmiştir. Kesici diskin takılı ve takılı olmadığı durumdaki makinenin boşa çalıştırılmasında elde edilen gürültü değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Kesici diskin takılı olduğu/olmadığı durumlarda elde edilen gürültü değerleri çevresel hız ile birlikte bir miktar artmıştır.

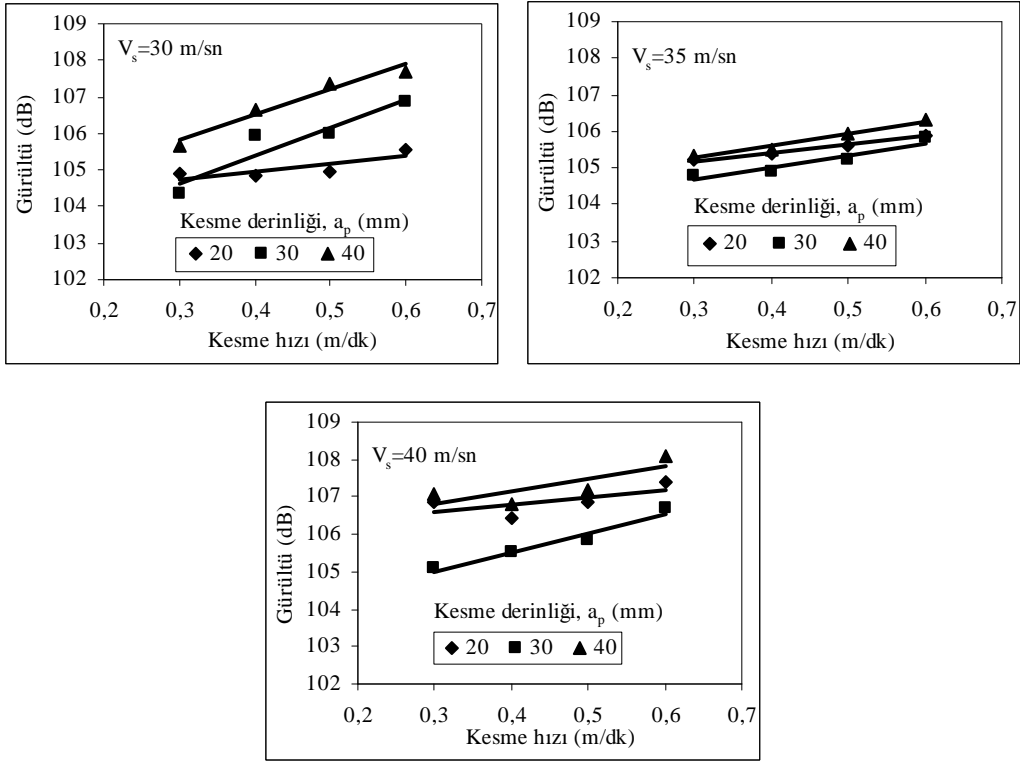
Kesici diskin takılı olmadığı durumdaki makine motorundan elde edilen gürültü seviyesi 77-80 dB arasında değişmektedir. Kesici diskin takılması ile birlikte gürültü seviyesi %20 civarında artmıştır. Kesici diskin çevresel hızı ile birlikte gürültü seviyesi artmaktadır. Bu artış elmas kesici diskin havayı yarmağa çalışmasından kaynaklanmaktadır. Elmas kesici disklerle kesme işleminde meydana gelen gürültü makine motoru, kesici diskin çevresel hızı ve kesme esnasında meydana gelen sürtünmeden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.1 Makinenin boшта çalıştırılmasında elde edilen gürültü değerleri.

Çevresel hız (m/sn)	Kesici disk takılı			Kesici disk takılı değil		
	30	35	40	30	35	40
Gürültü değeri (dB)	92	95	98	77	78	80

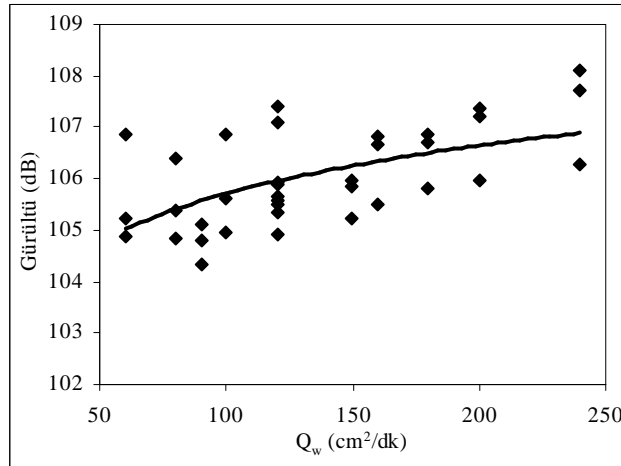
Kesme esnasında meydana gelen gürültü ise, kesici disk ile doğal taş arasında meydana gelen sürtünmeden dolayı oluşmaktadır. Sürtünmeden dolayı oluşan gürültü seviyesi 30 m/sn çevresel hız ve 0.4 m/dk kesme hızında % 14 civarında artmıştır.

Şekil 5.11’de kesme derinliğine bağlı olarak gürültü değişimi verilmiştir. Kesme hızı ve derinliğinin artması ile gürültü seviyeleri belirli bir miktar artmıştır. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği yönetmeliklerine göre; insan sağlığı açısından 87 dB sınır değer olup, bunun üzerindeki gürültülü ortamlarda çalışanların kişisel koruyucu kullanmaları zorunludur. Gürültünün daha alt seviyelere indirilmesi tamamen testere malzemesi ve tasarım ile ilgilidir. Testere gövdesinin çelik veya kompozit olması gürültü seviyesini etkileyebileceğinden yola çıkılarak, tabaka şeklinde özel olarak imal edilmiş testere gövdeleri kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, kesici disk üzerine açılan deliklerde kesme esnasında gürültüyü azaltmaktadır.



Şekil 5.11 Farklı çevresel hızlarda kesme derinliğine bağlı gürültünün değişimi.

Şekil 5.12’de gürültünün birim zamanda kesilen doğal taş alanına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Kesilen doğal taş alanının artması gürültü seviyesi artmaktadır. Bu artış çok fazla olmamakla birlikte özellikle belirli bir değerden sonra yatay bir seyir izlediği görülmektedir.



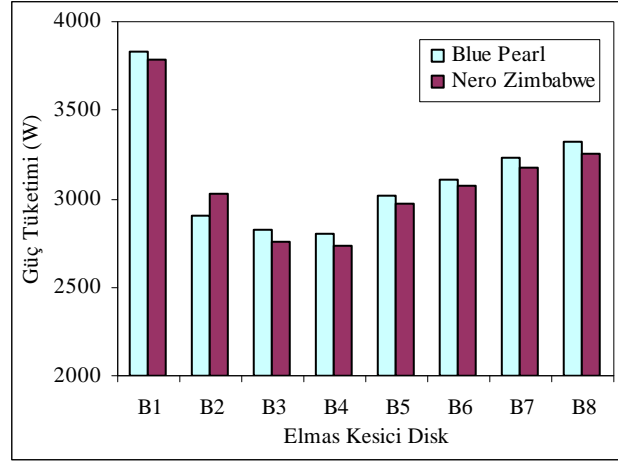
Şekil 5.12 Gürültünün birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.

5.2. Farklı Elmas Soketlerin Kesme Performans Deneyleri

Varyasyon deneylerinde farklı kesme parametrelerine bağılı olarak optimum kesme koşulu belirlenmiştir. Bu kesme koşuluna bağılı olarak sekiz farklı elmas kesici disk ve iki farklı doğal taş kullanarak kesme performans deneyleri yapılmıştır. Performans deneylerinde çevresel hız (V_s) 30 m/sn, kesme derinliği (a_p) 30 mm ve kesme hızı (V_w) 0,6 m/dk olmak üzere sabit kesme parametreleri dikkate alınmıştır. Aynı parametrelerde her bir kesme deneyi 20 kez tekrarlanmıştır.

5.2.1. Güç Tüketiminin Belirlenmesi

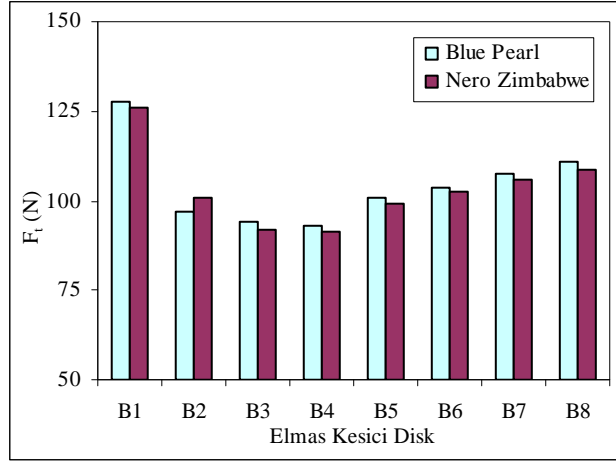
Farklı elmas kesiciler ile yapılan deneylerde Blue Pearl ve Nero Zimbabwe olmak üzere iki farklı doğal taş türü kullanılmıştır. Şekil 5.13'de farklı elmas kesicilere bağılı olarak elde edilen güç tüketimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, en büyük güç tüketimi B1 kesici diskte elde edilirken, en düşük güç tüketimi ise, elmas konsantrasyonunun en fazla olduğu B4 kesici diskte elde edilmiştir. Bütün kesici disklerde toplam 28 diş (soket) bulunurken, sadece B1 kesici diskte 24 diş bulunmaktadır. Kesici diskin çevresindeki diş sayısının azalması ile birim zamanda kesme yapan soket sayısı azaldığından daha fazla güç tüketimi meydana gelmiştir. Bununla birlikte, B5, B6, B7 ve B8 kesici disklerdeki güç tüketimleri B3 ve B4'e göre nispeten daha yüksektir. Matriks yapısının değişmesi ile önemli güç tüketimleri meydana gelmiştir. Öte yandan, B2 kesici disk dışındaki bütün disklerde Blue Pearl için elde edilen güç tüketim değerleri, Nero Zimbabwe için elde edilen güç tüketimlerinden yüksek elde edilmiştir. Blue pearl'ün daha iri taneli bir doğal taş türü olması için kesme işlemi esnasında daha fazla zorlanmaktadır. Bu zorlanma kesici diskin ilerleme doğrultusunda daha etkin görülmektedir. B2 testeresinde ise, elmas konsantrasyonunun düşük olmasından dolayı özellikle ince taneli doğal taşların kesilmesinde daha fazla zorlanmasına neden olmaktadır. B8 elmas kesici en fazla Cu/Sn bileşimine sahip olduğu için sertlik değeri düşüktür. Matriks elmas tanesini yeterince kavrayamadığından elmas taneleri kolay düşmekte ve böylece matriks anlık körelmektedir. Bunun sonucu olarak, B8 kesici disk diğerlerine göre biraz daha fazla güç tüketimine yol açmıştır. Burada, matriks sertliğinin elmas konsantrasyonundan daha önemli olduğu görülmüştür.



Şekil 5.13 Güç tüketiminin farklı elmas kesicilere bağlı değişimi.

5.2.2. Kesme Kuvvetlerinin Belirlenmesi

Farklı elmas soketlere bağlı olarak elde edilen teğetsel kuvvetlerin değişimi Şekil 5.14’de verilmiştir. Maksimum teğetsel kuvvetler B1 kesici diskte elde edilmiştir. B1 diskte diş sayısı daha az olduğu için, birim zamanda kesmesi gereken talaş miktarı daha fazladır ve böylece kesici disk ilerleme yönünde zorlanmaktadır. Güç tüketiminde olduğu gibi, elmas konsantrasyonunun azalması ile teğetsel kuvvetlerde bir miktar azalmıştır. B2 kesici disk haricindeki bütün kesici disklerde Blue Pearl için elde edilen teğetsel kuvvetler Nero Zimbabwe ye göre fazladır. En büyük elmas konsantrasyonuna sahip olan B4 kesici diskte kuvvetler daha düşük çıkmıştır. Burada yüzeyde kesme yapan aktif elmas tanecik sayısının çok olması her bir elmas tanecik üzerine gelen kuvvetleri azaltmıştır. Konsantrasyonun düşmesi ile yüzeydeki tanecik sayısı azalmakta ve elmas socketin kesme kabiliyeti düşmektedir. Ayrıca, matriks sertliğinin azalması da teğetsel kuvvetlerin artmasına neden olmuştur.

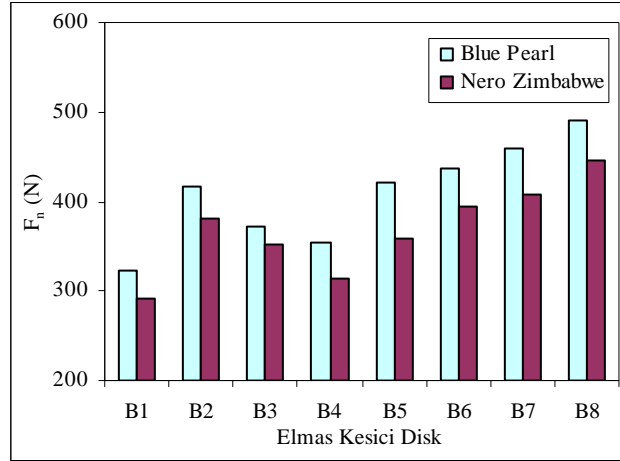


Şekil 5.14 Teğetsel kuvvetlerin farklı elmas kesici disklere bağlı değişimi.

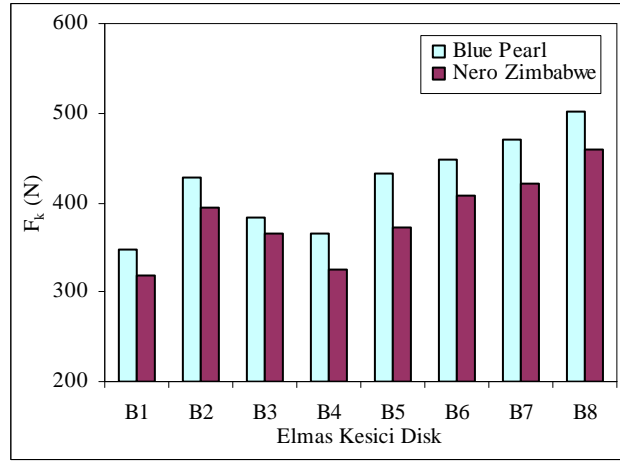
Farklı elmas kesici disklere bağlı olarak elde edilen normal kuvvetlerin değişimi ise Şekil 5.15’de verilmiştir. Elmas soket sayısı az olan B1 testeresinde daha yüksek teğetsel kuvvetler elde edilirken, normal kuvvetlerin ise daha düşük çıktığı gözlenmiştir. B1 kesici diskinde diğer disklere göre elmas soket sayısının az olması, dış boşluklarının daha fazla olmasına ve temas alanının azalmasına bu ise daha az sürtünmeye neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak, kesme esnasında derinliğini korumaya çalışan B1 kesici diskinde talaş çıkışı diğer kesici disklere göre daha rahat gerçekleşmektedir. Kesilen talaşın hızlı bir şekilde ortamdan uzaklaşması ise kesme işlemini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır. Bütün deneylerde, Blue Pearl için elde edilen normal kuvvet değerleri, Nero Zimbabwe için elde edilen değerlerden oldukça yüksektir. Şekil 5.15’e göre tane boyutunun etkisi diske etkiyen F_n kuvveti üzerinde daha belirgin olarak görülmektedir.

Soketteki elmas konsantrasyonun artması ile normal kuvvet değerleri azalmaktadır. Bu durumu B2, B3 ve B4 kesici disklerde rahatça görmekteyiz. Ayrıca, matriks içerisindeki W-Co bileşiminin azalması normal kuvvetlerde bir artışa sebep olmuştur.

Farklı elmas kesici disklerle elde edilen kesme kuvvetleri Şekil 5.16’da verilmiştir. Kesme kuvvetlerinde elde edilen değerlerin normal kuvvetler ile benzer özellik taşıdığı görülmektedir. Kesme kuvvetlerinde, normal kuvvetlerde olduğu gibi, elmas konsantrasyonunun artması ile kuvvet değerleri düşmektedir. Matriks sertliğinin azalmasında ise kuvvetler hızlı bir şekilde artmıştır.



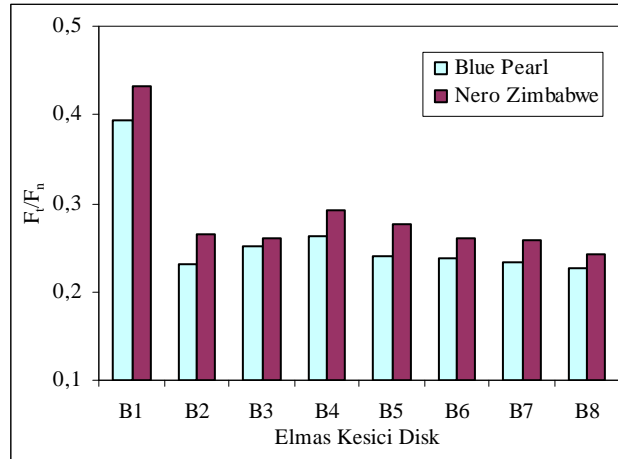
Şekil 5.15 Normal kuvvetlerin farklı elmas kesicilere bağlı değişimi.



Şekil 5.16 Kesme kuvvetlerinin farklı elmas kesicilere bağlı değişimi.

Bir kesme işleminde F_t ve F_n kuvvetleri değerlendirildiğinde F_n kuvvetleri F_t ye göre oldukça yüksek elde edilmektedir. F_t/F_n oranı ise kesme işlemi ile doğrudan ilişkilidir. Bu durumda, kuvvet oranları F_n ile ters orantılı, F_t de doğru orantılıdır. Yani, F_n kuvvetinin artması ile F_t/F_n oranı önemli ölçüde azalacaktır. Bu da kesici diskin kesme derinliğinde zor talaş kaldırdığını göstermektedir. Bir başka ifade ile bu oranın azalması ile kesme esnasında ortaya çıkan talaş ortamdan hemen atılamamakta ve daha fazla sürtünme meydana gelmektedir. Ayrıca, elmas tanecikleri kesme yapmak yerine doğal taş ile daha fazla sürtünmeye maruz kalmaktadır. Şekil 5.17’de farklı kesici disklere bağlı olarak kuvvet oranlarının değişimi verilmiştir. Maksimum F_t/F_n oranı B1 kesici diskte, minimum ise B8 kesici diskde elde edilmiştir. Bu durumda kesme ortamında

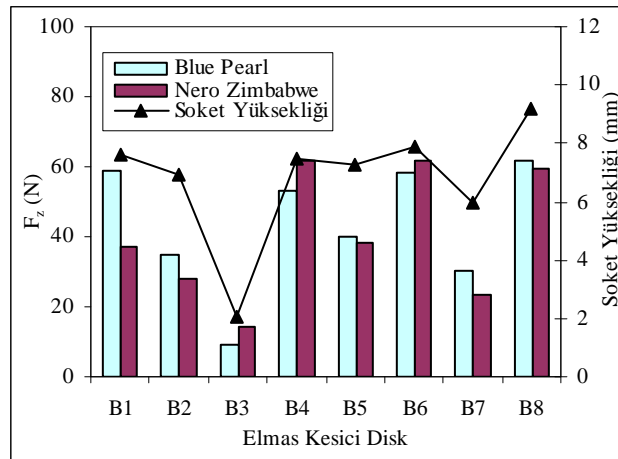
oluşan talaş dışarı kolayca atılabilmektedir. Diğer bir ifade ile, F_t/F_n oranının artması kesme derinliğini daha rahat koruyabilmekte ve sıkışma daha az gerçekleşmektedir. Dolayısıyla derin kesme işlemlerinde bu oranın mümkün olduğu kadarıyla büyük olması arzu edilir. B1 kesici diskin çevresinde 24 adet socket bulunması ile diğer disklerle göre daha büyük diş boşluklarına (su kanalları) sahiptir. Deneylerde kullanılan diğer kesici diskler 28 diş sahiptir ve dolayısıyla B1'e göre daha küçük diş boşlukları bulunmaktadır. Burada, kesme deneylerinde B1 kesici diskin diğer disklerle göre çıkan talaşı rahatlıkla ortamdan uzaklaştırabilmektedir. Bununla birlikte, elmas konsantrasyonunun artması bir elmas tanecik üzerine etki eden kuvveti azaltmakta ve bunun sonucu olarak daha kolay kesme yapmaktadır. Şekil 5.17'den de görüldüğü gibi, bütün deneylerde Nero Zimbabwe granitinin kesilmesinin diğerine göre daha kolay olmaktadır.



Şekil 5.17 Kuvvet oranlarının farklı elmas kesici disklerle bağlı değişimi.

Varyasyon deneylerinde farklı kesme parametrelerinin yanıl kuvvetler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı elmas kesici ve socket yüksekliğine bağlı olarak elde edilen yanıl kuvvetlerin (F_z) değişimi ise Şekil 5.18'de verilmiştir. Maksimum F_z kuvvetleri B4, B6 ve B8 elmas kesici disklerde elde edilmiştir. En düşük F_z kuvveti ise B3 elmas kesici diskteyir. Elmas kesici disklerle kesme işlemi esnasında, disk önüne sertliği yüksek minerallerin gelmesiyle, disk kesme doğrultusundan sapmaya çalışmaktadır. Bu durumda yanıl kuvvetler meydana gelmektedir. Yanıl kuvvetler, elmas socketin düzenli aşınmasını etkilediğinden dolayı önemlidir. Yapılan deneylerde, elmas konsantrasyonunun ve matriks yapısının F_z kuvvetlerini fazla etkilemediği görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda, F_z kuvvetleri ile soket yüksekliği arasında önemli bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. Soket yüksekliğinin artması ile kesici disk gövdesi daha büyük yanıl kuvvetlere maruz kalmaktadır. Kesme işlemi esnasında disk önüne kesilmesi güç bölgeler geldiği zaman, disk ile soket arasındaki en zayıf lehim bölgesinde bir moment oluşmaktadır. Bu momentin etkisiyle kesici disk kendini belirli bir bölgeye çekmektedir. Şekil 5.18'den de görüldüğü üzere soket yüksekliği minimum olan B3 kesici diskinde elde edilen F_z kuvveti minimum seviyededir. Bununla birlikte, soket yüksekliği maksimum olan B4, B6 ve B8 diskinde F_z kuvvetleri maksimum elde edilmiştir. Buradan da, yeni kullanılmaya başlarken kesici disklerde soket yüksekliği fazla olacağı için kesme derinliği ve kesme hızının daha küçük seçilmesinin daha yararlı olacağı sonucu çıkmaktadır. B1 kesici diskteki Blue Pearlde elde edilen yanıl kuvvetler, Nero Zimbabweye göre oldukça yüksek elde edilmiştir. B1 kesici diskin soket sayısının diğerlerine göre az olması ve Blue Pearl'ün tane boyutunun iri olması, kesme esnasında daha fazla yanıl kuvvetlere sebep olduğu görülmüştür.

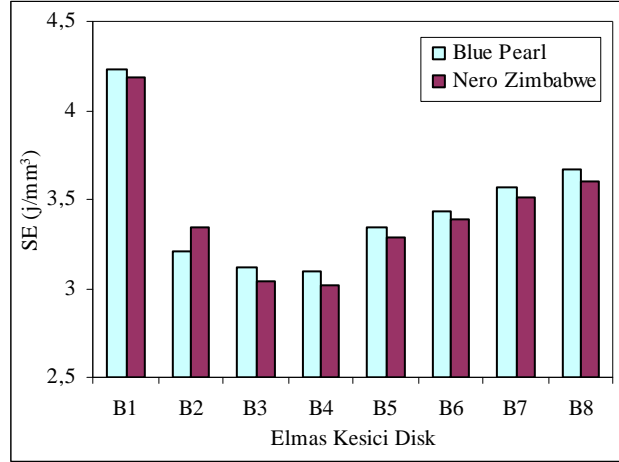


Şekil 5.18 F_z kuvvetlerinin ve soket yüksekliğinin farklı elmas kesici disklerle bağlı değişimi.

5.2.3. Spesifik Enerjinin Belirlenmesi

Farklı elmas kesici disklerle yapılan kesme performans deneylerinde elde edilen spesifik enerji değerleri Şekil 5.19'da verilmiştir. Maksimum spesifik enerji değeri B1 kesici diskinde elde edilirken, minimum spesifik enerji değeri ise elmas konsantrasyonunun en yüksek olduğu B4 kesici diskinde elde edilmiştir. B1 kesici diskte spesifik enerjinin yüksek çıkmasının sebebi, çevresinde daha az elmas soketin bulunmasıdır. Elmas soket

sayısının azalması, birim zamanda soket başına düşen enerji miktarının artmasına neden olmaktadır. Matriksteki elmas konsantrasyonunun azalması ile enerji sarfiyatı önemli ölçüde artmaktadır. Bununla birlikte, kesme işleminde elmas soket matriks içerisindeki W-Co oranının azalması Spesifik Enerji değerlerini yükseltmektedir.

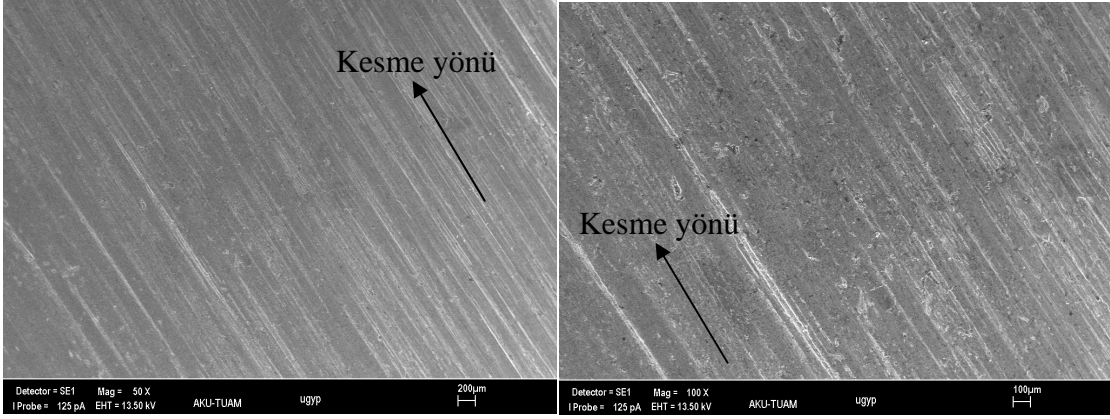


Şekil 5.19 Spesifik enerjinin farklı elmas kesici disklerle bağlı değişimi.

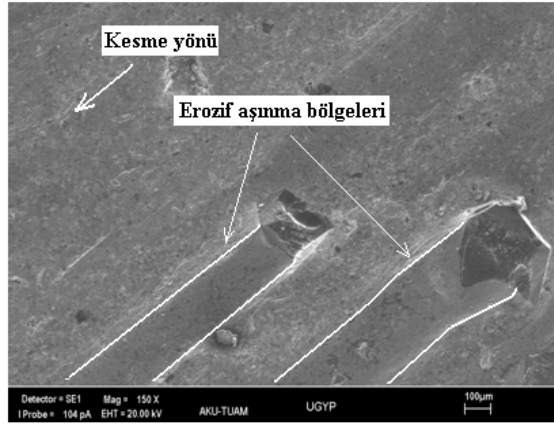
Nero Zimbabwe için elde edilen spesifik enerji değerleri daha düşüktür. Burada ilginç olan bir sonuç ise, sadece B2 kesici diskte Nero Zimbabwe için elde edilen spesifik enerji değerinin daha fazla olmasıdır. Bu sonuç güç tüketimi ve teğetsel kuvvetlerin elde edilmesinde de görülmüştür. Burada elmas konsantrasyonunun düşmesi bir dezavantaj olarak görülmektedir.

5.2.4. Elmas Soket Aşınmasının Belirlenmesi

Elmas soketlerdeki aşınmalar, elmas tanecik ve matriks olmak üzere iki farklı durumda değerlendirilmektedir. Elmas tanecikler genel hasar durumlarında ele alınmaktadır. Elmas soketlerde matriks aşınması genellikle abrasiv aşınma şeklinde görülmektedir (Luo 1995). Bununla birlikte, özellikle elmas tanecik etrafında çıkan talaşın etkisi ile erozif aşınma da görülmektedir. Resim 5.1'de matriks yüzeylerinde görülen abrasiv aşınmanın SEM görüntüsü verilmiştir. Ayrıca, elmas tanecik etrafında meydana gelen erozif aşınma da Resim 5.2'de verilmiştir.



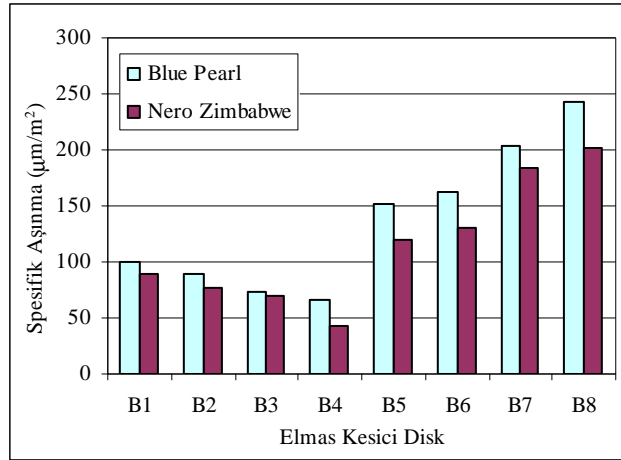
Resim 5.1 Abrasiv aşınmaya maruz kalmış elmas soket yüzeyinin SEM görüntüsü.



Resim 5.2 Erozif aşınma görülmüş elmas soketin SEM görüntüsü.

Elmas konsantrasyonunun matriks aşınması üzerindeki etkisi de bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Farklı elmas kesicilere bağlı olarak elde edilen spesifik aşınma değerleri Şekil 5.20’de verilmektedir. Elmas sokette meydana gelen aşınma miktarlarının elmas konsantrasyonu ve matriks bileşiminden doğrudan etkilendiği görülmüştür. Maksimum soket aşınması içerisinde yüksek oranda Cu/Sn içeren B8 kesici diskinde elde edilmiştir. Kesilen doğal taşların sert ve aşındırıcı etkisinin yüksek olması ve elmas soketteki sertliğin azalmasıyla soket aşınması önemli ölçüde artmaktadır. B5 ve B6 elmas soket içerisinde sırasıyla W-Co elementi ile birlikte, %20 ve %30 oranlarda Cu/Sn-Fe bulunmaktadır. Artan bu bileşim soket sertliğini azalttığından B6 elmas kesicide elde edilen aşınma miktarı B5’e göre daha fazladır. B7 ve B8 de aynı oranda W-Co olmasına rağmen, B7 deki elmas konsantrasyonunun bir miktar yükselmesi ile daha az aşınma meydana gelmiştir. Çalışmada, elmas konsantrasyonunun elmas soket aşınması üzerinde önemli bir etkiye sahip olsada, matriks sertliğinin azalmasıyla soket aşınmaları daha fazla artmıştır. Farklı elmas konsantrasyonlarına sahip olan B2, B3 ve B4 kesici

disklerde konsantrasyonun artması ile aşınmalar bir miktar azaltmıştır. Elmas konsantrasyonunun artması yüzeyde aktif kesme işlemi yapan elmas taneciklerinin arttığı anlamına gelmektedir. Bu artış hem matriks ile doğal taşın sürtünmesini azaltmakta, hem de soket yüzeyindeki birim alana etki eden kuvvetleri düşürmektedir. Bunun sonucu olarak da, elmas soket yüzeyindeki spesifik aşınmalar azalmaktadır. İlginç olan bir diğer sonuç ise, konsantrasyonları ve matriks özellikleri aynı fakat üzerindeki soket sayıları farklı olan B1 ve B3 kesici disklerde farklı aşınma durumlarıdır. Elmas soket sayısı az olan B1 diskinde aşınma B3'e göre daha fazla gerçekleşmiştir. Aynı kesme koşullarında B1 diski 24 soket ile kesme işlemi yaparken, B3 diski ise 28 soket ile yapmaktadır. Birim zamanda kesme işlemi yapan soket sayısı azaldığı için daha fazla aşınma meydana gelmiştir. Yapılan deneylerde Blue Pearl için elde edilen aşınma değerleri, Nero Zimbabwe için elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu da elde edilen diğer bir sonuçtur. Yapılan minerolojik testler ile Blue Pearl granitinin tane boyutunun büyük olması ve aşındırma etkisinin yüksek olması soket aşınmasını artırdığı düşünülmektedir.

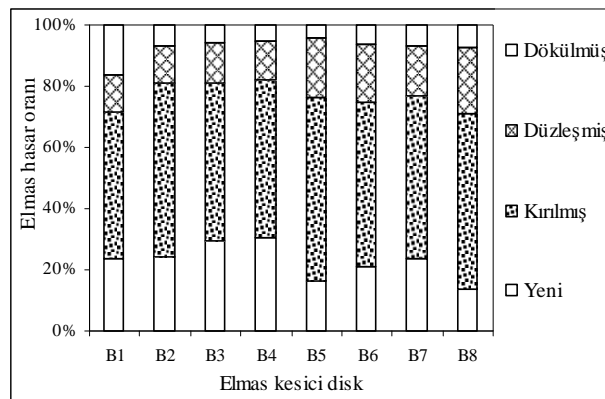


Şekil 5.20 Farklı elmas kesici disklerle bağlı spesifik aşınma miktarlarının değişimi.

5.2.5. Elmas Taneciklerde Meydana Gelen Hasarların İncelenmesi

Çalışmanın bu kısmında, kullanılan farklı özelliklere sahip elmas soketlerin yüzey özellikleri 250X büyütme bir USB mikroskop altında incelenerek, hasar durumları belirlenmeye çalışılmıştır. Elmas hasarların belirlenmesinde her disk üzerinden 4 farklı soket tek tek mikroskopla incelenmiştir. Elmas tanecikleri, kesici disk ve doğal taşla ilgili olarak her 20 deney sonucunda incelenmiştir. Diğer doğal taşın kesme performans

deneyine geçmeden önce kesici disk yumuşak ve aşındırıcı özelliği iyi olan bir doğal taş ile bilemeye tabi tutulmuştur. Bu sayede matriks aşınması sağlanarak soket yüzeyinden yeni elmas taneciklerinin çıkması sağlanmıştır. Disk çevresindeki soketler eşit aralıklarla seçilmiştir. Yapılan mikroskop incelemeleri neticesinde, soket yüzeyinde baskın üç farklı hasar türü gözlemlenmiştir. Bunlar; elmas tanecik dökülmesi, elmas tanecik kırılması ve tanecik düzleşmesidir. Her bir soket üzerindeki elmas tanecikler sayılarak, hasar gören elmas taneciklerinin oranları saptanmıştır. Ayrıca, kesme esnasında hiçbir hasara uğramayan elmas tanecik oranları da belirlenmiştir. Blue Pearl granitinin farklı elmas kesici disklerle kesilmesi sonrasında elde edilen elmas hasar oranları Şekil 5.21’de verilmiştir. Matriksin W-Co oranının azalması ile birlikte elmas soket üzerine daha fazla kuvvet etki ettiğinden yeni elmas tanecik yüzdesi düşme eğilimi göstermektedir. Burada incelenen yeni elmaslar aşınma sonucunda çıkan tanecikler olmayıp, hiçbir hasara uğramayan elmas taneciklerini göstermektedir. Öte yandan, elmas konsantrasyonunun artması ile birlikte yüzeyde kırılmamış veya aşınmaya maruz kalmamış elmas tanecik yüzdesinde bir miktar artış gözlenmiştir. Yapılan mikroskobik incelemeler, Cu/Sn oranının artmasıyla (B5, B6, B7, B8), W-Co oranı yüksek olan kesici disklere göre daha düşük oranlarda görülmektedir. Fakat B5, B6, B7 ve B8 elmas kesiciler arasında net bir bağlantının gözlenmemiş olduğu görülmüştür. Bütün kesici disklere görülen en büyük hasar oranı elmas kırılmasıdır. Kırılmış elmas tanecikleri ifadesiyle, hem mikro hem de makro tanecik kırılmaları dikkate alınmıştır. Kesme işleminde aynı yönlü kesme modunun seçilmesiyle, talaş kesiti başlangıçta maksimumdan sona doğru minimuma değişmektedir. Burada, elmas konsantrasyonunun artması ile kırılma oranları bir miktar düşme eğilimi göstermiştir. En büyük kırılma oranı B5 ve B8’de görülmüştür.

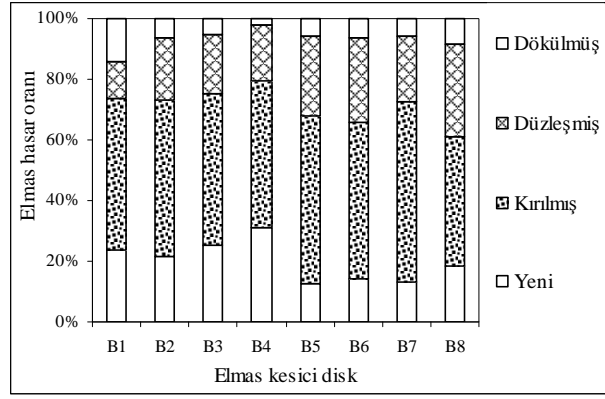


Şekil 5.21 Farklı kesici disklere elmas hasar oranları (Blue Pearl).

B1, B2, B3 ve B4 kesici disklerde elde edilen elmas tanecik düzleşme (=parlamış) oranı diğer kesici disklere göre oldukça düşük çıktığı görülmüştür. Matriks sertliğinin azalması ile elmas düzleşmesi artmıştır. B5, B6, B7 ve B8 elmas kesicilerde benzer çıktığı görülmüştür ve bunların içersinde en büyük olan B8 kesici diskte elde edilmiştir. Maksimum elmas dökülmesi yüzde olarak B1 kesici diskte görülmüştür. B1 elmas kesici çevresinde daha az elmas soket (24 adet) bulunması elmas soket dökülmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Minimum elmas dökülmesi ise elmas konsantrasyonunun en çok olduğu B4 kesici diskte elde edilmiştir. Elmas konsantrasyonunun artması ile elmas dökülmesinin belirli bir miktar azaldığı görülmüştür. Elmas dökülmesinin artması ile kesim yapan tanecik sayısı azalmakta ve matriks yüzeyinde daha fazla sürtünme kuvvetleri meydana gelmektedir. Bu sürtünmenin etkisi ile kesici disk daha fazla kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bununla birlikte, B6 ve B7 elmas kesicilerde birbirine yakın değerlerin elde edildiği görülmektedir. B1 den sonra en fazla elmas dökülmesi B8 elmas kesici diskte meydana gelmiştir. B8 elmas kesici disk daha fazla teğetsel kuvvetlere maruz kalmaktadır.

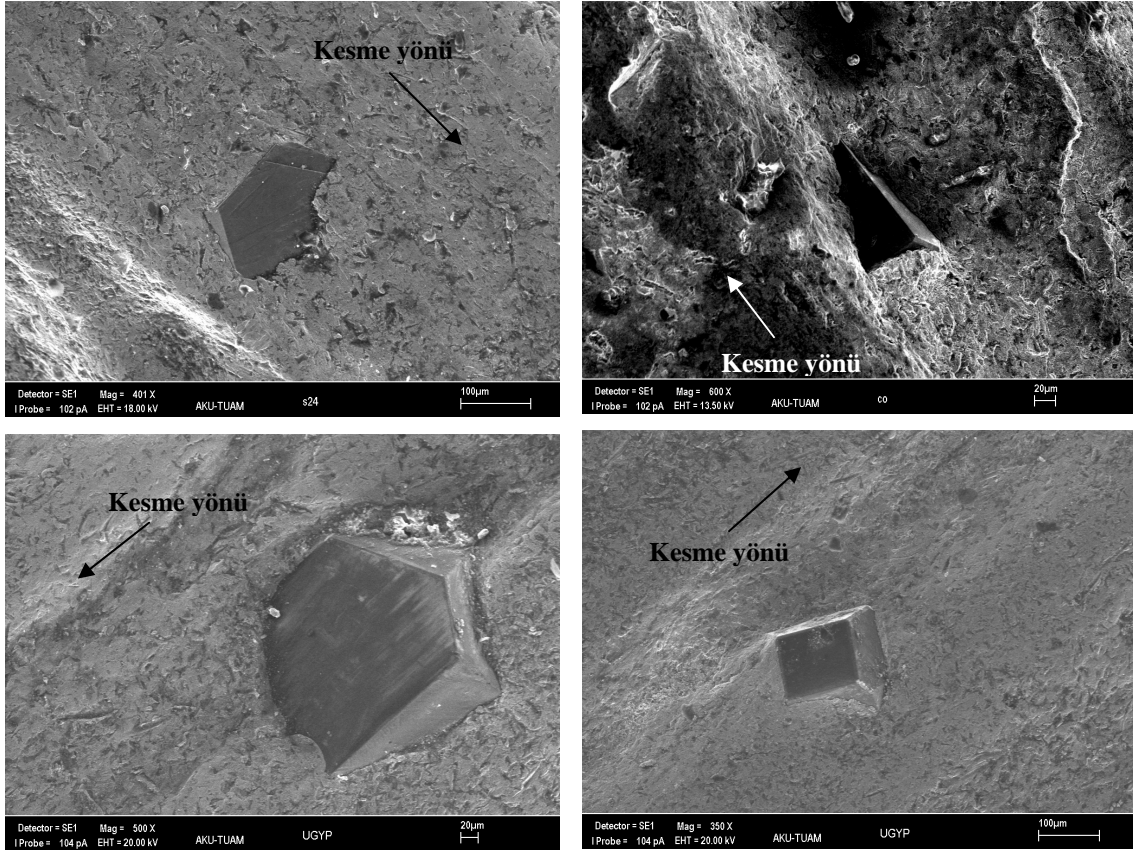
Nero Zimbabwenin kesilmesi esnasında farklı kesici disklerdeki elmas hasar oranları Şekil 5.22'de verilmiştir. Nero Zimbabve için elde edilen hasar oranları Blue Pearl'e benzer şekilde elde edilmiştir. Yeni elmas oranı konsantrasyonunun en yüksek olduğu B4 kesici diskte elde edilmiştir. Benzer şekilde en düşük elmas dökülmesi B4 kesici diskte görülmüştür.

Kesme işlemlerinde kullanılan iki doğal taşı birbiri ile karşılaştırıldığında, çok ta belirgin bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Genellikle, yeni elmas taneciklerinin Blue Pearl'de biraz daha fazla olmasına karşın, elmas tanecik düzleşmesinde ise oran daha düşüktür. Elmas kırılmaları ve dökülmesinde net bir ilişkinin olmadığı gözlenmiştir. Doğal taşların minerolojik ve fiziko mekanik özelliklerinin elmas hasarı açısından kesin bir şekilde değerlendirmesi için çok sayıdaki doğal taş ile deney yapılması gerekmektedir.



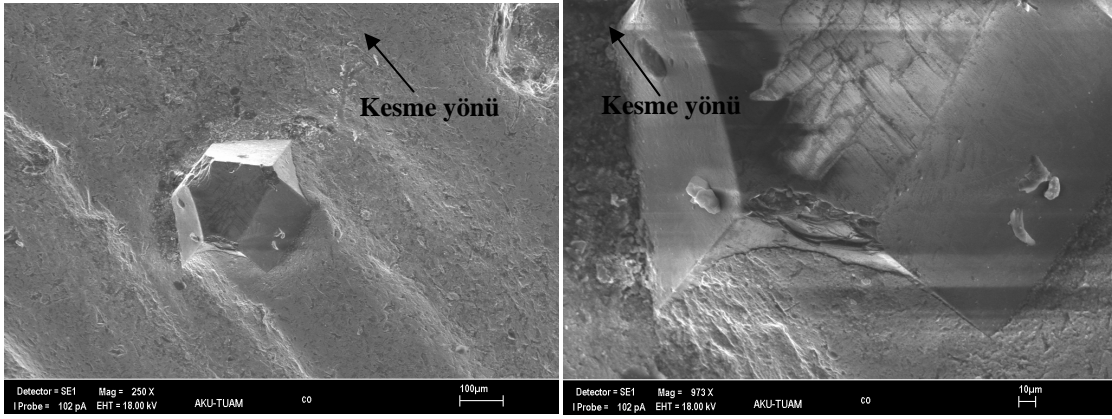
Şekil 5.22 Farklı kesici disklerdeki elmas hasar oranları (Nero Zimbabwe).

Elmas soket üzerindeki yeni elmas taneciklerinin SEM görüntüsü Resim 5.3’de verilmiştir. Aşağıdaki resimde verilen SEM görüntüleri farklı kesici diskler üzerindeki elmas soketlerden alınmıştır. Bütün kesici disklerde aynı hasar türleri görüldüğünden SEM analizi için bazı kesici diskler seçilmiştir. Yeni elmas tanecikleri hiçbir hasara uğramayan tanecikleri göstermektedir.

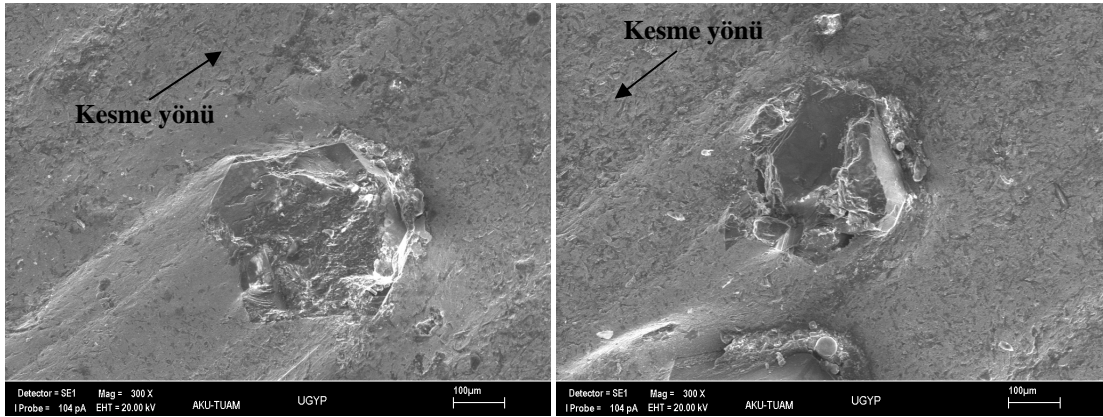


Resim 5.3 Yeni elmas taneciklerinin SEM görüntüleri.

Deneyler sonucunda elmas soketlerde yapılan incelemelerde görülen elmas tanecik kırılmaları Resim 5.4’de verilmiştir. Resimde verilen SEM görüntülerinde küçük ve büyük elmas kırılmaları gözlenmiştir. Büyük elmas kırılmalarının anlık olmadığı, küçük elmas kırılmalarının bir sonucu olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Elmas tanecik yüzeylerinde tek bir kırılma yüzeyinin olmadığı çok fazla kırılma yüzeylerine sahiptir. Elmas kırılması hiçbir zaman istenmeyen bir durumdur. Kırılmalar genellikle kesici diskin doğal taşa ilk temas anında gerçekleşmektedir. Kesme hızının artması ile kırılmalar da önemli oranda artmaktadır. Elmas kırılmasından sonra meydana gelen kırık yüzeyler taneciğin yeni kesme köşelerini oluşturmaktadır. Bu durumda elmas tanecik daha rahat kesmeye başlar fakat darbeye karşı mukavemeti oldukça zayıflamıştır.



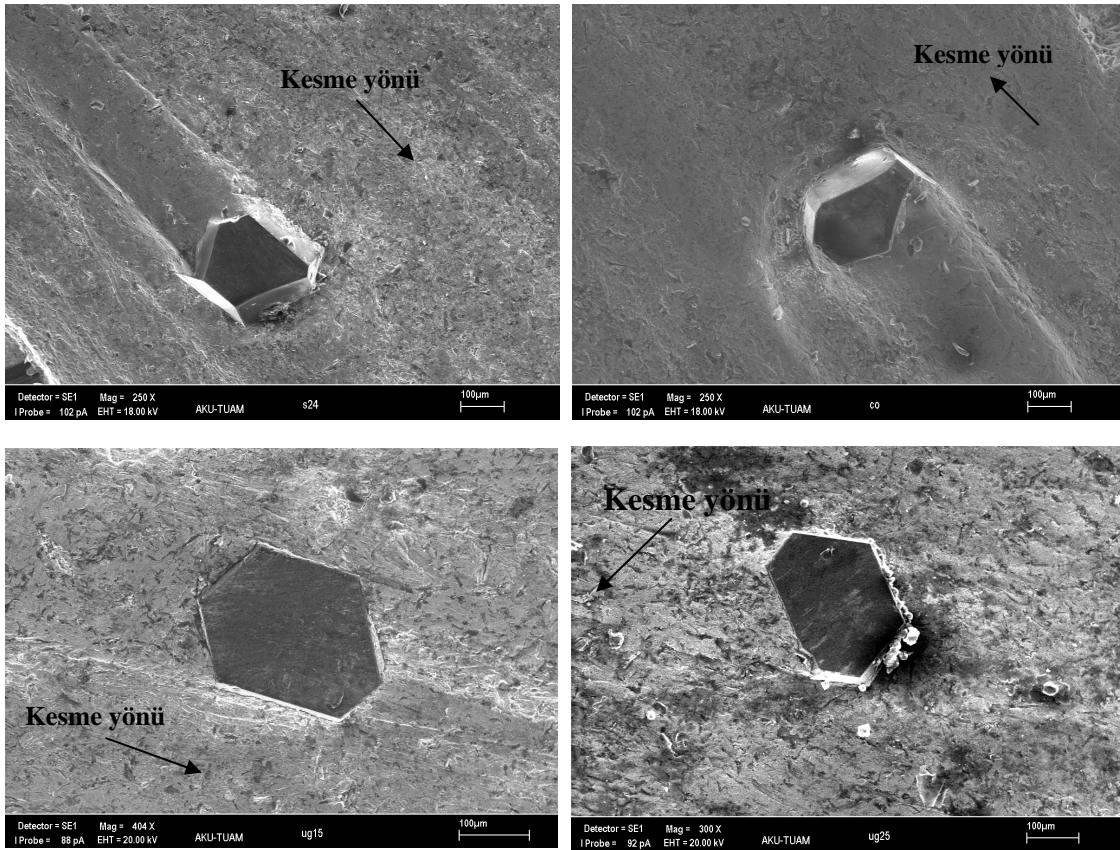
a)



b)

Resim 5.4 Kırılmış elmas tanecik yüzeylerinin SEM görüntüleri a) Mikro kırılmış, b) Makro kırılmış.

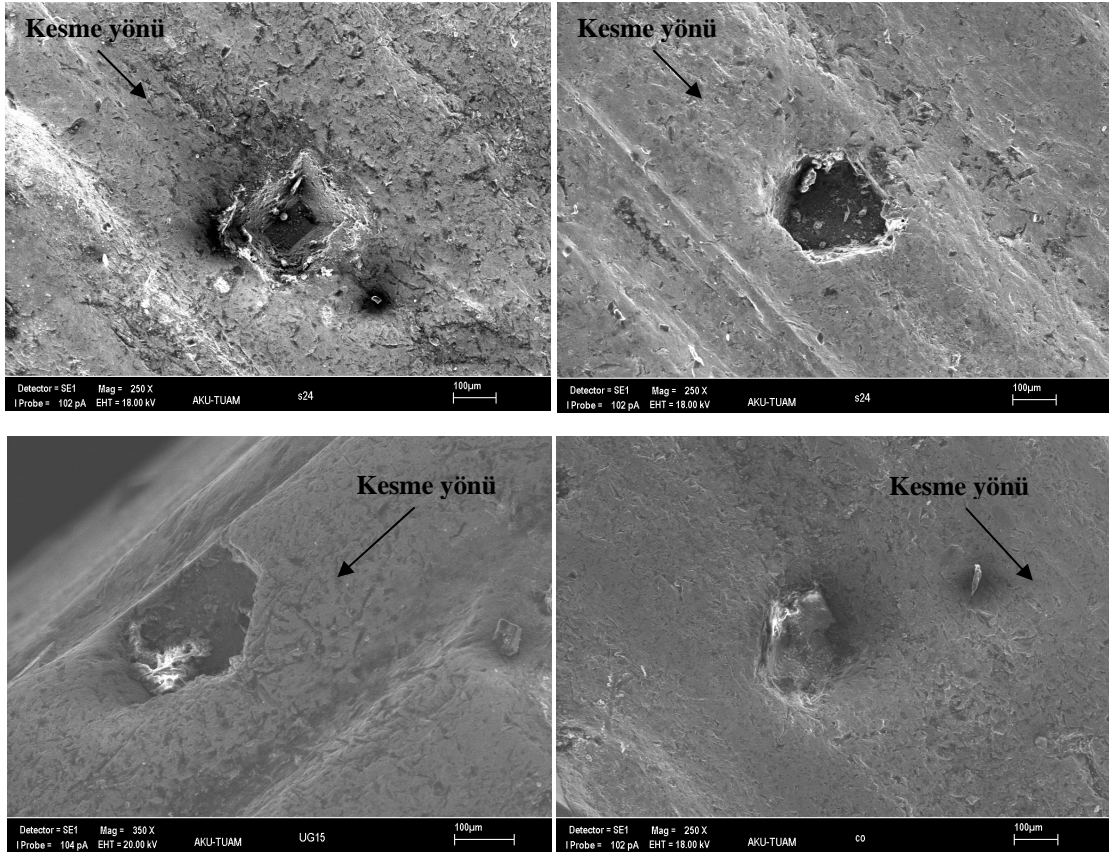
Elmas taneciklerde görülen bir diğer hasar türü tanecik düzleşmesidir (Resim 5.5). Başka bir ifade ile elmas taneciğinin kırılmadan veya dökülmeden düzgün bir şekilde aşınmasıdır. Eğer bir elmas taneciğinin kalitesi yüksek ve matriks ile elmas arasındaki bağ kuvvetli ise elmas taneciklerde kırılma veya dökülme daha azdır. Bu durumda genellikle elmas ya yeni olarak kalacak ya da tanecik yüzeyi düzgün bir şekilde aşınacaktır. Teorik olarak elmas tanecik üzerine etki eden temas sıcaklığının 800-1000°C civarında olduğu tahmin edilmektedir (Xu 2001, Asche 2000). Bu sıcaklıklar üzerinde elmas tanecik özelliğini kaybetmektedir. Isıl ve mekanik zorlanmaların etkisi ile elmas tanecik yüzeyinde düzleşme (parlanmış) meydana gelmektedir.



Resim 5.5 Düzleşmiş elmas tanecikleri.

Resim 5.6'da dökülmüş elmas taneciklerinin elmas soket üzerindeki SEM görüntüsü verilmiştir. Elmas dökülmesi elmas tanecik ile matriks arasındaki bağa bağlıdır. Elmas dökülmesinin en aza indirgenmesi için elmas ile matriks arasında meydana gelen bağ güçlü olması gerekmektedir. Bununla birlikte, çalışma koşulları, elmas soket ve matriks

özellikleri, kesilen malzemenin özellikleri gibi pek çok faktör elmas dökülmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Elmas dökülmesinde matriks ile elmas tanecik arasındaki bağ zayıf ise, elmas tanecik aşınmadan veya kırılmadan dökülmektedir. Elmas tanecik dökülmesi genellikle socketin köşelerinde daha sık görülmektedir. Bu aşınmanın daha çok köşe noktalarında görüldüğünü ve en zayıf bölgenin burası olduğunu bize göstermektedir.



Resim 5.6 Dökülmüş elmas taneciklerinin matriks yüzeyindeki SEM görüntüleri.

5.3. Farklı Soğutma Sıvılarının Kesme Performansına Etkisi

Farklı elmas kesici performanslarının yanında değişik soğutma sıvılarının elmas disk performansı üzerindeki etkisi ayrıca incelenmiştir. Su, bor yağı, Ace-Cool ve sıvı sabun olmak üzere dört ayrı soğutma sıvısı kullanılmıştır. Bu deneylerde tek tip kesici disk (B1) kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak kesme performans deneylerinde

kullanılan parametreler tercih edilmiştir. Her bir soğutma sıvısı ve granit için ayrı ayrı olmak üzere 20 şer deney yapılmış ve debi 15lt/dk olarak sabit alınmıştır.

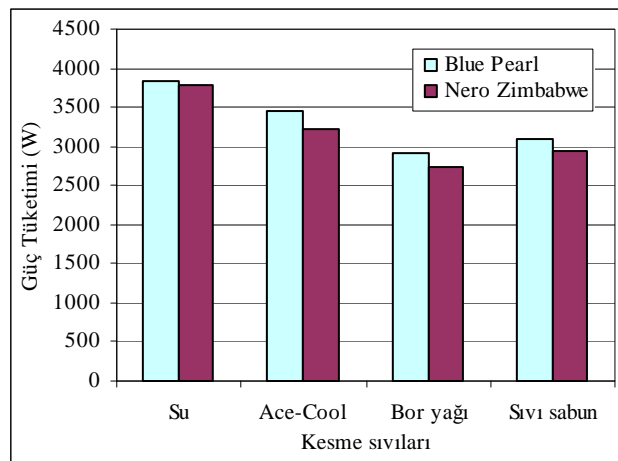
5.3.1. Güç Tüketiminin Belirlenmesi

Şekil 5.23’de her iki granit türü için farklı soğutma sıvılarına ait güç tüketim değerleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, her iki granitin kesilmesi esnasında maksimum güç tüketimi, soğutma sıvısı olarak suyun kullanılması durumunda elde edilmiştir. Buna karşın minimum güç tüketimi ise su-bor yağı karışımındadır. Kullanılan soğutma sıvısının kayganlaştırıcı özelliğinin artması, doğal taş ile soket arasındaki sürtünmenin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bunun sonucu olarak kesme için harcanan güç tüketimi bir miktar düşmektedir. Burada bahsedilen sürtünme, soket matrisi ile granit arasında meydana gelmektedir. Bununla birlikte elmas taneciği ile granit arasındaki sürtünmenin de azaldığı söylenebilir. Fakat bu azalma, daha çok taneciğin doğal taşı koparması sonrasında gerçekleştiği düşünülmektedir. Bir anlamda kopan talaş daha kaygan bir sıvı ile birleşerek elmas taneciği yüzeyinden daha kolay sıyrılmaktadır. Bu da kesme esnasındaki güç tüketiminin azalmasına katkıda bulunmaktadır.

Şekil 5.23’de verilen grafikte dikkati çeken diğer bir unsur da; Blue Pearl için elde edilen güç değerlerinin bütün kesme sıvılarında daha yüksek olmasıdır. Bunun da nedeni; Blue Pearl granitinin daha iri bir tane yapısına sahip olmasıdır. Kesme esnasında soket, tanenin tamamını koparamadığından dolayı taneyi parçalar halinde kesmeye çalışmakta ve bunun sonucu olarak kesme için daha fazla güç harcamaktadır. Elde edilen bu sonuçlara göre, soğutma sıvısı olarak kullanılan suya %3 oranında katılan bir bor yağı ilavesi yaklaşık %24 lük bir güç tasarrufuna neden olmaktadır. Ayrıca suya ilave olarak kullanılan katkı maddelerinin, ince tane yapısına sahip granit türleri için daha uygun olduğunu söylemek mümkün. Çünkü soğutma sıvısı olarak sadece su kullanıldığında, kaba taneli granit (Blue Pearl) ile ince taneli (Nero Zimbabwe) granit arasındaki güç azalması çok düşük düzeyde gerçekleşmektedir. Buna karşın, katkılı soğutma sıvılarında her iki kayaç arasındaki güç farkı suya nazaran daha fazladır.

Her türlü imalat endüstrisinde minimum enerji maliyeti ile maksimum üretim yapmak temel esastır. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında ilk defa katkılı soğutma sıvısının enerji maliyetlerini %25 lere kadar aşağı çekebileceği görülmüştür. Dolayısıyla günde binlerce metre karelik kesim yapan bir mermer işletmesi için bu denli bir enerji tasarrufu önemli bir rekabet ortamının oluşmasına katkı sağlayacaktır.

Deneylerde, %3 su ile birlikte kanalizasyon şebekesine gönderilmiş ve geri dönüşüm yapılmamıştır. Fakat bu sıvıların endüstride kullanılması mutlaka çökeltme havuzlarının olması ve suyun tekrar filtre edilerek kesme ortamına gönderilmesi gerekmektedir. Bir doğal taş endüstride çok sayıdaki makinenin çalıştığını düşündüğümüzde, bor yağının kullanılması ve filtre edilerek sisteme gönderilmesi önemli verimler sağlanacağı düşünülmektedir. Bu verimlerin en önemlisi geri dönüşüm ile enerji tasarrufunun sağlanmış olacağıdır. Ayrıca, kesme makinelerinde kullanılan suyun makine üzerindeki olumsuz yönlerini düşündüğümüzde, bor yağının kullanılması makine üzerinde yağlayıcı etki oluşturacak hem mekanik aksama hem de korozyona karşı önemli bir direnç sağlayacaktır. Doğal taşların bu sıvıları gözenekleri vasıtasıyla absorbe etmesi kötü görünüme neden olabileceğinden dolayı bu sıvıların kullanılması dezavantaj olarak görülebilir. Fakat sıvının kesme bölgesine yağmurlama değil de, özel bir sistem ile kesme bölgesine basınçlı olarak gönderilerek, doğal taş yüzeylerine daha az nüfus etmesi ile bu sorun çözülebilir.

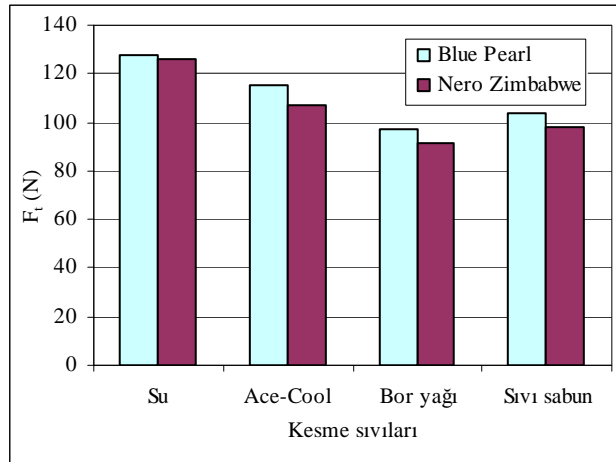


Şekil 5.23 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak güç tüketiminin değişimi.

5.3.2. Kesme Kuvvetlerin Belirlenmesi

Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak teğetsel kuvvetlerin değişimi Şekil 5.24’de verilmiştir. Güç tüketiminde olduğu gibi, soğutma sıvısı olarak sadece suyun kullanıldığı kesme şartlarında teğetsel kuvvetler en büyük olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte su-bor yağı karışımının kullanıldığı kesme işlemlerinde ise elde edilen teğetsel kuvvetler minimum seviyededir. Suyu ilave edilen %3 oranındaki bor yağı teğetsel kuvvetlerin, Blue Pearl için yaklaşık % 24 Nero Zimbabwe için ise % 28 azalmasına neden olmuştur. Su-Bor yağı karışımına en yakın sonuçlar ise sıvı sabun katkılı soğutma sıvısında elde edilmiştir.

Soğutma sıvısı içerisindeki kayganlaştırıcı madde elmas taneciklerinin kopardığı talaşın kesilen yüzeyden daha rahat atılmasına katkıda bulunmaktadır. Bir anlamda kesme esnasında tanecik önüne yığılan talaş, yağlayıcının etkisiyle daha kolay uzaklaştırılmaktadır. Bunun sonucunda kesme esnasında ortaya çıkan teğetsel kuvvet te bir miktar azalmaktadır.

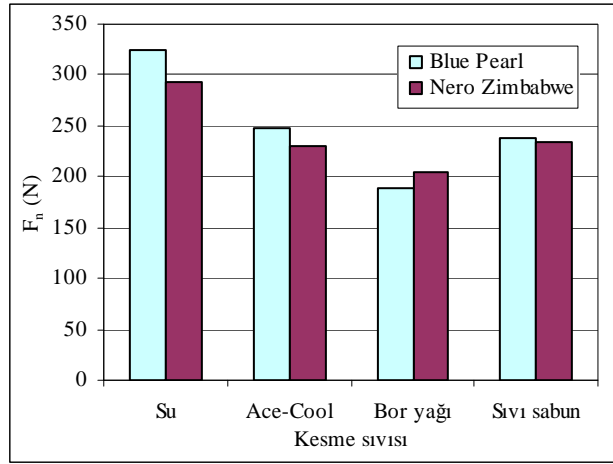


Şekil 5.24 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak teğetsel kuvvetin değişimi.

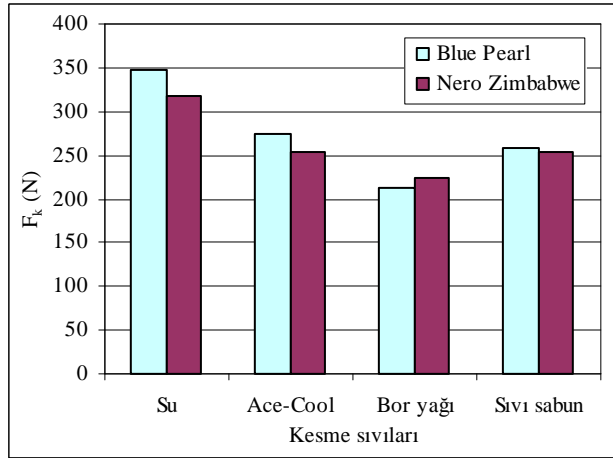
Bir doğal taş kesme işleminde elde edilen normal kuvvet değerleri kesici diskin kesme derinliğini koruyabilmesi açısından önemlidir. Ayrıca, normal kuvvetler güç tüketimi ve aşınmaya bağlı olarak elmas kesicinin ömrünü önemli ölçüde etkilemektedir. Farklı soğutma sıvıları için elde edilen normal kuvvet değerlerinin değişimi Şekil 5.25’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bor yağı hariç bütün kesme sıvılarında Blue Pearl için elde edilen normal kuvvet değerleri daha yüksektir. Bu da daha ince taneli

olan Nero Zimbabwenin kesilmesi esnasında çıkan talaşın soket yüzeyine daha kolay yapışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle Blue Pearl için, bor yağının kullanılması ile birlikte normal kuvvet değerlerinde yaklaşık % 40 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. Özel sıvı ve sıvı sabunun kullanılmasında elde edilen normal kuvvet değerleri birbirine yakınlık göstermekle beraber, sıvı sabun katkılı soğutma suyu için elde edilen değerlerin bir miktar düşük olduğu söylenebilir.

Normal ve teğetsel kuvvetlerin bileşkesi olan kesme kuvveti değerleri Şekil 5.26'da verilmiştir. Kesme kuvvetinde ise, hem normal hem de teğetsel kuvvetlere benzer şekilde maksimum kesme kuvvetinin soğutma sıvısı olarak suyun kullanıldığı kesme şartlarında elde edilmiştir.



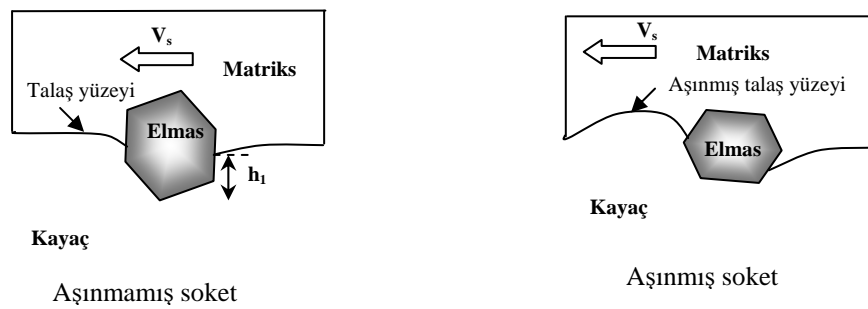
Şekil 5.25 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak normal kuvvetin değişimi.



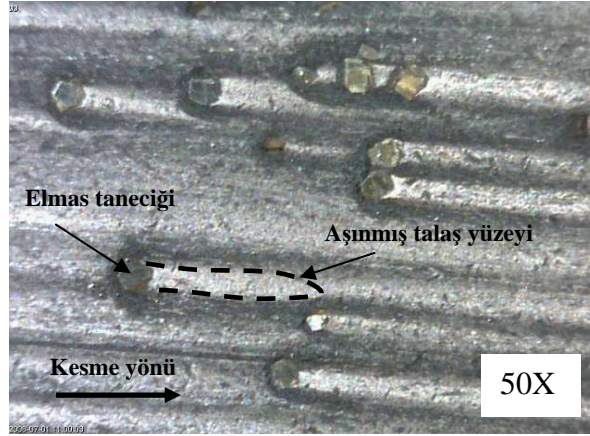
Şekil 5.26 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak kesme kuvvetinin değişimi.

Soket ilk kullanılmaya başlandığında elmas taneciklerinin yüzeyde olması nedeniyle talaş kaldırma işlemi daha kolay gerçekleşir. Dolayısıyla yeni bilenmiş veya ilk defa kullanılan bir testere için kesme kuvvetlerinin ölçümü yapılacak olursa, değerlerin normalin çok altında olduğu görülecektir.

Yeni bir testere ile kesme işlemi esnasında, elmas tanecik önünde biriken talaşın etkisiyle bir süre sonra erozif (krater) aşınma meydana gelmektedir. Bu aşınmayla birlikte, talaşın ortamdaki uzaklaşması zorlaşmaktadır. Oysaki yeni testerede krater aşınması söz konusu olmadığından, çıkan talaş kesme ortamından kolaylıkla atılmaktadır (Şekil 5.27). Böylece elmas taneciği kendine boş kesme alanları sağladığından, performansı yüksek olmaktadır. Fakat aşınmayla birlikte, bu bölgede yoğun bir talaş birikmesi söz konusudur. Yağlayıcı etkisi olan bir soğutma sıvısının kullanılması, erozif aşınmaya maruz kalan bölgedeki talaşın sıkışmasını en aza indirmektedir. Dolayısıyla kesme kuvvetleri azalmakta ve güç tüketiminden tasarruf sağlamaktadır. Şekil 5.28’de soket yüzeyinden alınmış ve yukarıda bahsi geçen ifadeyi doğrulayan bir mikroskop görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.28’de de görüldüğü üzere her elmas taneciğinin ön kısmında aşınmış bir bölge oluşmuştur. Matris malzemesinin aşınmasıyla meydana gelen bu çukurcuklar kesme sırasında talaş ile dolmaktadır. Yeterli bir soğutma sıvısı veya yağlayıcı özelliği olan bir sıvı kullanılmadığı takdirde kesme kuvvetleri ve güç tüketimi artacaktır.

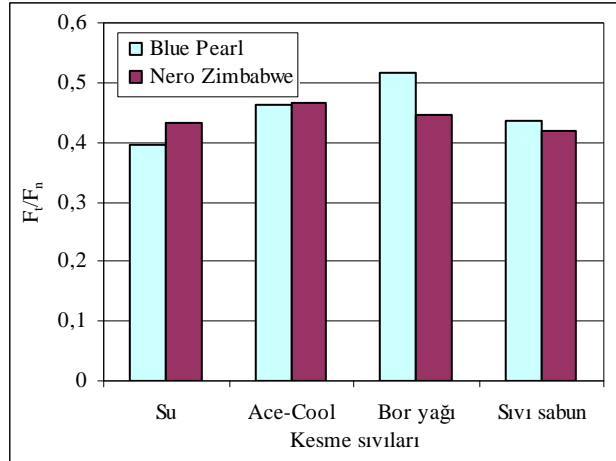


Şekil 5.27 Aşınmış ve aşınmamış soket durumlarında talaş oluşumu.



Şekil 5.28 Aşınmış bir soket yüzeyinden alınan mikroskop görüntüsü.

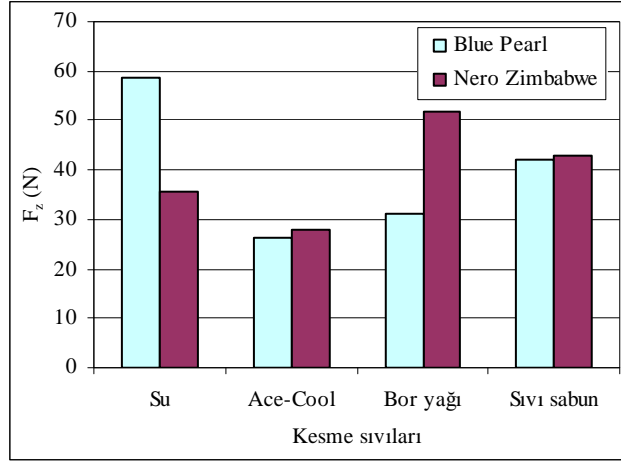
Kesme esnasında F_t kuvvetinin F_n ye oranla daha fazla artması veya F_n nin F_t ye oranla daha fazla azalması F_t/F_n oranının artmasına neden olacaktır. Farklı soğutma sıvıları ile yapılan kesme işlemlerine baktığımızda su-bor yağı karışımının kesme işleminde kullanılması ile F_t/F_n oranı artmıştır. Bununla birlikte, en zor kesme işleminin kesme sıvısı olarak sadece su kullanılması durumunda elde edilmiştir. Bu soğutma sıvısındaki kuvvet oranları minimum olarak elde edilmiştir. Su-bor yağı karışımı ile yapılan kesme işleminde F_t kuvveti F_n ye nazaran daha düşük bir azalma eğilimi göstermiştir. Bunun sonucunda da diğer soğutma sıvılarına göre F_t/F_n oranı daha büyük elde edilmiştir (Şekil 5.29).



Şekil 5.29 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak kuvvet oranlarının değişimi.

Elmas kesici diske yanal olarak etkiyen kuvvetler hem diskin performansını hem de aşınma davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Aynı zamanda, diskte meydana gelebilecek hasarlarda da önemli etkisi bulunmaktadır. Farklı kesme sıvılarına bağlı olarak elde edilen yanal kuvvetler Şekil 5.30'da verilmiştir.

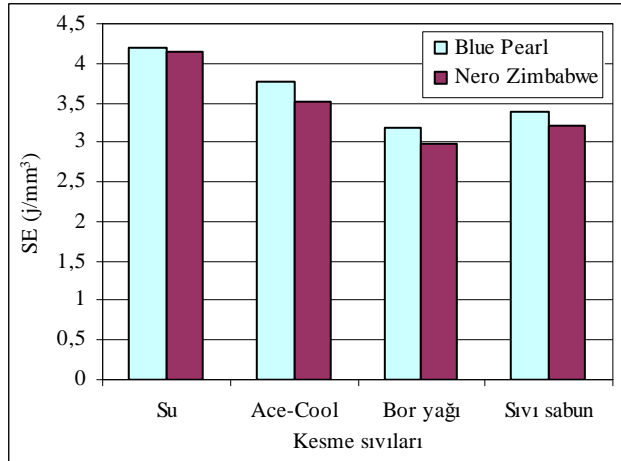
Maksimum F_z kuvveti suyun soğutma sıvısı olarak kullanılması durumunda elde edilmiştir. Nero Zimbabwe kesilmesinde su-bor yağı karışımı kullanıldığında da F_z kuvvetinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Burada soğutma sıvısı olarak sadece suyun kullanıldığı durum ile su-boryağı karışımının kullanıldığı durum birbiriyle tezat teşkil etmektedir. Şöyle ki, suyun kullanılması durumunda, daha kaba taneli olan Blue Pearl de F_z kuvvetleri daha büyük çıkmaktadır. Bunun da nedeni; soketin kesmekte zorlandığı iri taneler testereyi z yönünde yer değiştirmeye zorlamasıdır. Buna karşın Nero Zimbabwe nin ince taneli bir yapıya sahip olması testereyi z yönünde daha az zorlamaktadır. Soğutma sıvısının yağlayıcı etkisinden dolayı kaba taneli olan Blue Pearl ün kesilmesinde testere z yönünde daha az zorlanmaktadır. Oysaki Nero Zimbabwenin kesilmesi esnasında çıkan daha küçük boyuttaki talaş, su içerisindeki bor yağı ile çamurlaşmakta ve soket yüzeyine sıvandığı düşünülmektedir. Sıvanmanın bir sonucu olarak kesici disk z yönünde daha fazla zorlanmaktadır. Özel sıvı olarak isimlendirilen soğutma sıvısı suda bor yağına nazaran çok daha iyi çözünebilme özelliğine sahiptir. Dolayısıyla ince taneli taşların kesilmesi esnasında çıkan toz şeklindeki talaşın çamurlaşp sokete sıvanma olasılığı oldukça düşüktür. Bu nedenle Şekil 5.30 dan da görüldüğü üzere, her iki granit türü için F_z kuvvetleri oldukça düşük ve birbirine yakın seviyede elde edilmiştir. Benzer bir durum sıvı sabun için de söylenebilir. Fakat sıvı sabun katkılı soğutma sıvısı kullanıldığında F_z kuvvetlerinin yaklaşık olarak % 30 daha yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 5.30 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak yanal kuvvetin değişimi.

5.3.3. Spesifik Enerjinin Belirlenmesi

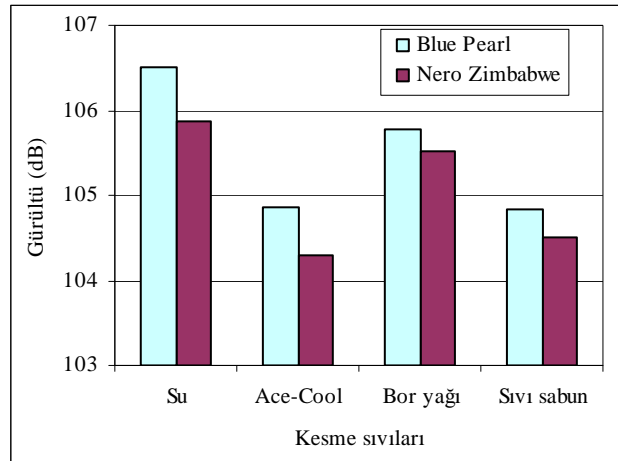
Bir kayaç kesme işleminde kesme verimini belirleyen önemli parametrelerden biri de spesifik enerjidir. Şekil 5.31 de farklı soğutma sıvılarının spesifik enerji değişimleri üzerindeki etkisi verilmiştir. Spesifik enerji tüketilen güç değerine bağlı olarak hesaplandığı için Şekil 5.23’de verilen grafiğe benzer bir eğilim elde edilmiştir. Maksimum spesifik enerji değeri soğutma sıvısı olarak suyun kullanılması durumunda elde edilirken, minimum spesifik enerji ise su-bor yağı karışımından elde edilmiştir.



Şekil 5.31 Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak spesifik enerjinin değişimi.

5.3.4. Gürültünün Ölçülmesi

Farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak elde edilen gürültü değerleri Şekil 5.32’de verilmiştir. Su dışında kullanılan diğer soğutma sıvılarında gürültü değerlerinin azaldığı görülmüştür. Buradaki gürültü kesici disk ile doğal taş arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelmektedir. Ace-Cool, Bor yağı ve sıvı sabunun kesme esnasında kayganlaştırıcı etki yapmasından dolayı kesici disk ile doğal taş arasında meydana gelen sürtünme azalmakta ve dolayısıyla gürültü değerleri de azalmaktadır. Burada, Ace-Cool ve sıvı sabundan farklı olarak bor yağı için elde edilen gürültü değerleri yüksek çıkmaktadır. Bunun sebebi elmas kesici disk üzerine yapışan doğal taş parçacıkları olabilir. Diğer bir sonuç ise, bütün soğutma sıvılarında elde edilen gürültü değerleri Nero Zimbabwe için Blue Pearl’den düşük çıkmasıdır. Gürültü açısından iri tane yapısı dezavantaj olarak değerlendirilmiştir.

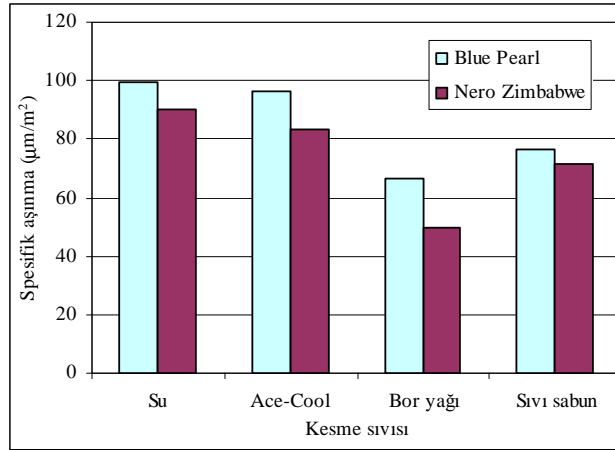


Şekil 5.32 Farklı soğutma sıvılarına bağlı gürültü değerleri.

5.3.5. Elmas Soket Aşınması

Farklı kesme sıvıları ile yapılan deneylerde elde edilen spesifik aşınma miktarları Şekil 5.33’de verilmiştir. Bütün soğutma sıvılarında en büyük aşınma miktarı Blue Pearl’de görülmüştür. Bu doğal taşın tane yapısının iri ve içerisinde aşınmaya etkili olan silikat mineralinin olmasından dolayı maksimum aşınmalar meydana gelmiştir. Soğutma sıvısı açısından değerlendirecek olursak, en büyük aşınma değerleri kesme sıvısı olarak su kullanılması durumunda elde edilmiştir. Minimum değerler ise su-bor yağı karışımında

bulunmuştur. Ace-Cool ve sıvı sabunda, suya göre daha az aşınma görülmüş fakat bor yağına göre fazla aşınma miktarları elde edilmiştir. Burada kullanılan soğutma sıvısının kayganlaştırıcı etkisinin artmasının kuvvetlerde olduğu gibi aşınmada da etkin olduğu görülmüştür. Kayganlaştırıcı özelliği ile granit ile elmas soket arasındaki sürtünme kuvvetleri daha çok azalmaktadır. Ayrıca kayganlaştırıcı etkisi ile kesme ortamından ayrılamayan talaşlar elmas soket yüzeyine yapışarak koruyucu etki oluşturmuş olabilir. Burada elmas soketin kayacın rengini alarak tamamen siyah halde olduğu ve elmas taneciklerinin görünmeyecek kadar yüzeyin kaplandığı görülmüştür. Bununla birlikte, elmas soketlerin biraz temizlendiğinde elmas taneciklerinin ortaya çıktığı ve bu talaşların daha çok tanecik önündeki kanalda biriktiği gözlenmiştir.



Şekil 5.33 Farklı soğutma sıvılarına bağlı elmas soket aşınması.

Elmas soketlerin hasar durumları için her deney sonrasında kesici diskin dört ayrı soketi optik mikroskopta tek tek incelenmiştir. Bu inceleme sonrası toplam elmas tanecik sayıları ile inceleme sonrasında elde edilen hasar durumları orantılanarak karşılaştırma yapılmıştır. Blue Pearl graniti için farklı soğutma sıvılarına bağlı olarak elde edilen hasar durumları Şekil 5.34’de verilmiştir.

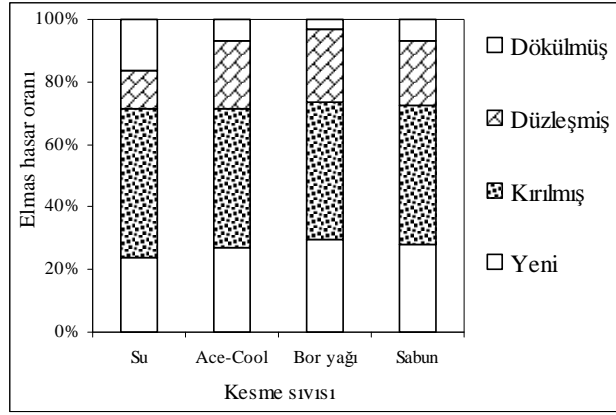
Elmas soket yüzeyindeki yeni elmas tanecik bor yağı kullanılmasında daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum kuvvetleri de olumlu yönde etkilemiştir. Bununla birlikte, suyun kullanılmasında ise yeni elmas tanecik oranı daha düşüktür. Elmas taneciklerinin kırılmasında ise, kesme sıvıları arasında belirgin bir farkın olduğu görülmektedir. En büyük kırılmış elmas tanecik oranı suyun kullanılması durumunda elde edilirken, en

düşük ise bor yağı kullanılmasında görülmüştür. Burada, bor yağının kayganlaştırıcı etkisinin olması kırılma oranını azalttığı düşünülmektedir. Benzer şekilde, Ace-Cool kullanılmasında da suya göre elmas kırılma oranı azalmıştır. Öte yandan, kırılmış elmas tanecik oranlarında Ace-Cool ve sıvı sabun arasında benzerlik olduğu görülmüştür.

Düzleşmiş elmas tanecik oranlarında en fazla bor yağı kullanılmasında elde edilmiştir. Bor yağı kayganlaştırıcı etki yaptığından, kesme esnasında ortaya çıkan talaş ortamdaki uzaklaşamayıp yüzeye yapışmaktadır. Sürtünmenin etkisi ile elmas tanecik yüzeyinin düzgün bir şekilde aşınmasına neden olmuştur. Diğer yandan, su kullanılmasında ortamdaki hemen uzaklaşan talaşlar elmas tanecik yüzeylerinin aşınmasını daha da azaltmıştır. Ace-Cool ve sıvı sabunda da düzleşmiş elmas tanecik oranları suya göre yüksek elde edilirken, bor yağına nazaran daha düşüktür. Elmas taneciklerinin kırılması ve düzleşmesinin yanında en büyük problemlerden bir tanesi elmas dökülmesidir. En büyük elmas dökülme oranı soğutma sıvısı olarak su kullanılmasında elde edilmiştir. Ace-Cool ve sabun da ise benzer oranlar elde edilmiştir.

Elmas dökülmesi kesme kuvvetlerine önemli ölçüde bağlı olabildiği gibi, özellikle sinterleme koşullarına bağlı olarak elmas tanecik ile matriks arasındaki metalik bağa önemli ölçüde bağlıdır. Elmas dökülmesi ile matriks yüzeyindeki elmas yoğunluğu azalmaktadır. Yoğunluğunun azalması ile elmas tanecik üzerine düşen kuvvet miktarı ile diske etki eden kesme kuvvetleri ve güç tüketimi önemli ölçüde artmaktadır.

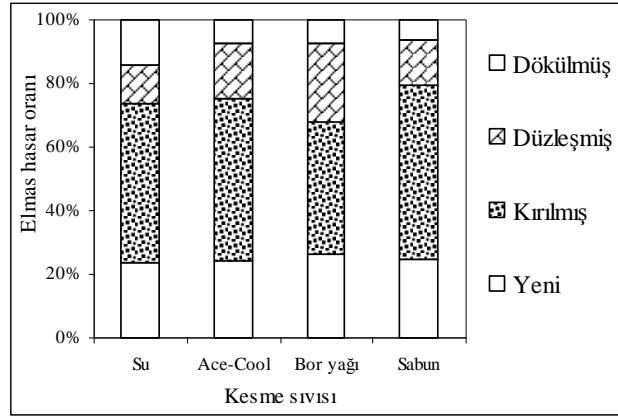
Burada suyun dışında kullanılan kesme sıvılarında kesme kuvvetleri daha az etkili olduğundan elmas dökülme oranlarını da azalttığı görülmüştür. Bu doğal taşta ilginç diğer sonuç ise, özellikle su kullanılması durumunda elde edilen elmas dökülme oranı düzleşmeye göre fazla olmasıdır.



Şekil 5.34 Farklı kesme sıvılarına bağlı elmas hasar oranı (Blue Pearl).

Nero Zimbabwe için elde edilen elmas hasar durumları Şekil 5.35’de verilmiştir. Diğer doğal taş benzer şekilde en fazla yeni elmas tanecik oranı bor yağında elde edilirken, kırılmış elmas tanecik oranlarında da belirgin bir azalma gözlenmiştir. Aynı şekilde, düzleşmiş elmas tanecik oranı da bor yağı kullanıldığında belirgin bir şekilde artmıştır. Ace-Cool, bor yağı ve sıvı sabun da elde edilen elmas dökülme oranları yakın çıksa da, sıvı sabun da biraz daha az görülmüştür. En büyük dökülme oranı ise, su kullanıldığında elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan her iki doğal taşı karşılaştırdığımızda yeni elmas taneciklerinin Blue Pearl’de biraz daha fazla olduğu görülmektedir. Kırılmış ve düzleşmiş elmas tanecik oranlarında tam bir ilişki gözlenmemiştir. Bununla birlikte, elmas dökülmesinde de bor yağı haricindeki bütün kesme sıvılarında benzer şekilde elde edilmiştir.

Düzleşmiş elmas tanecik oranının artması belirli bir miktar kuvvet artışına sebep olsa da, elmas taneciklerinin düzleşmesinin artması aşınmanın daha düzenli olduğunu göstermektedir. Elmas taneciğinin kırılması ve dökülmesinden daha çok düzenli aşınması istenir. Düzleşmiş elmas tanecik yüzdelerinde bor yağı hariç, bütün kesme sıvılarında en yüksek oranlar Blue Pearl de elde edilmiştir.



Şekil 5.35 Farklı kesme sıvılarına bağlı elmas hasar oranı (Nero Zimbabwe).

Elmas tanecik hasarları açısından Blue Pearl ve Nero Zimbabwe arasındaki bazı karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalarda bazı sonuçların belirgin olarak görülmesine karşın, bazı hasarlar arasında net bir bağlantı kurulamamıştır. Doğal taş türlerinin elmas soket hasarları üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek için çok sayıda doğal taşla yapılacak deneyler ile mümkündür.

5.4. Elmas Soket Sıcaklığının Belirlenmesi

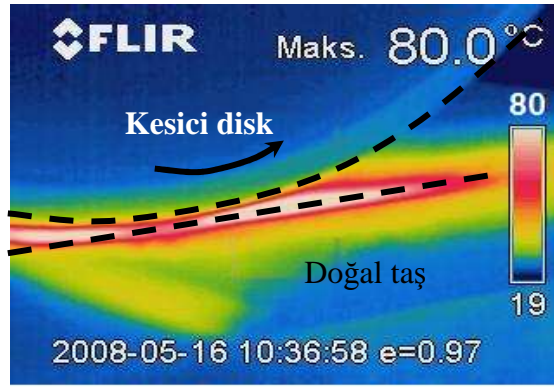
Elmas soket yüzeyindeki sıcaklık soket ile doğal taş arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelmektedir. Elmas tanecik yüzeyindeki sıcaklığın teorik olarak çok yüksek olduğu varsayılmaktadır (Xu 2001). Elmas soket yüzeyinde ise elmas taneciklerindeki kadar olmasa da belirli bir sıcaklık meydana gelmektedir. Deneylere başlamadan önce termal kamera ile bazı ön deneyler yapılmıştır. Bununla birlikte, hem su kullanarak hem de kuru kesme koşullarında elmas soket sıcaklığı deneysel olarak incelenmiştir. Buradaki çalışmada, elmas soket sıcaklığı kesme parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Elmas soket sıcaklığında elde edilen değerleri daha güvenilir değerlendirmek için her bir parametre beş kez tekrarlanmıştır.

5.4.1. Termal Kamera ile Yapılan Sıcaklık Ölçümleri

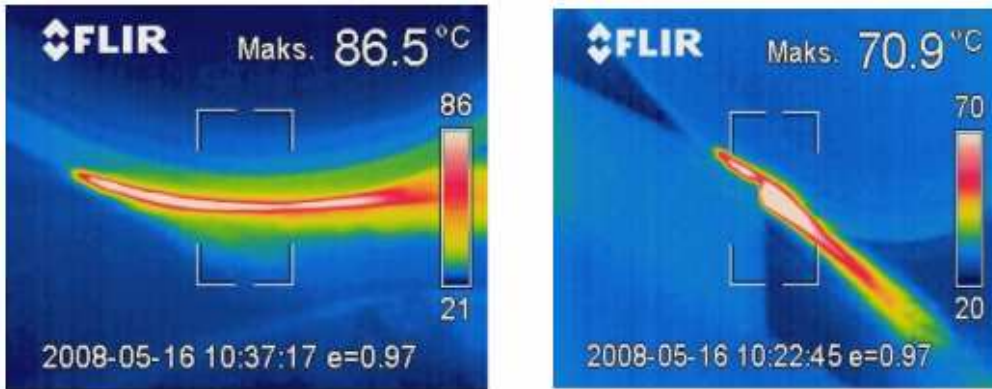
Sıcaklık ölçümlerine başlamadan önce bir termal kamera ile bazı ön deneyler yapılmıştır. Deneylerde kuru kesme koşulları tercih edilmiş olup, sığ kesme derinlikleri

tercih edilmiştir. Bu deneyler kesme esnasındaki doğal taş ile elmas kesici disk üzerindeki sıcaklık değerlerini görmek amacıyla yapılmıştır. Sulu kesme koşullarında termal kameraya zarar vereceğinden tercih edilmemiştir.

Termal kamera kullanarak farklı kesme parametrelerinde sığ kesme koşulları tercih edilmiştir. Resim 5.7’de kesme esnasında termal kameradan alınan sıcaklık değerleri verilmiştir. Şekilde kesici disk ve doğal taşın şekli görülmektedir. Kırmızı olan bölge maksimum sıcaklığı göstermektedir ve kesici disk ile doğal taşın temas bölgesinde meydana gelmiştir. Kesme esnasındaki sıcaklık ölçüm sonuçları ayrıca Resim 5.8’de verilmiştir. Burada elmas kesici disk üzerinde o anlık sıcaklığın 86,5 ve 70,9°C olduğu görülmüştür.

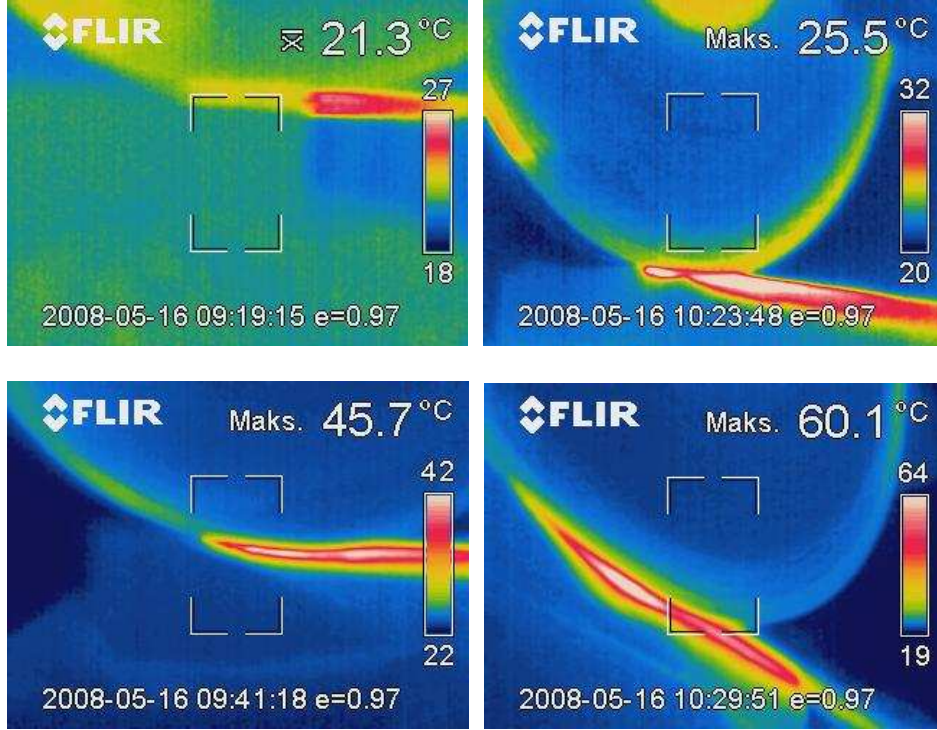


Resim 5.7 Kesme esnasında termal kameradan alınan sıcaklık değerleri.



Resim 5.8 Kesme esnasında termal kameradan alınan sıcaklık değerleri.

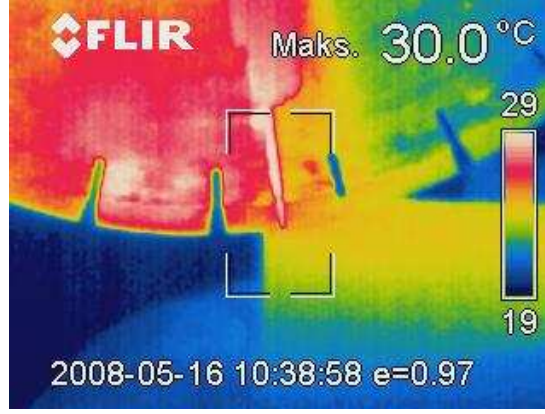
Düşük kesme derinliklerinde elde edilen elmas soket sıcaklıkları Resim 5.9'da verilmiştir.



Resim 5.9 Düşük kesme derinliklerinde termal kamera ile elde edilen sıcaklık ölçümleri.

Termal kamera ile yapılan ölçümlerde, kameranın kesme bölgesine yakınlığının oldukça önemli olduğu görülmüştür. Bu nedenle, ölçümler mümkün olan en kısa mesafede yapılmıştır. Kamerayı kesme bölgesinden uzaklaştırıldığında farklı sonuçların çıktığı görülmüştür.

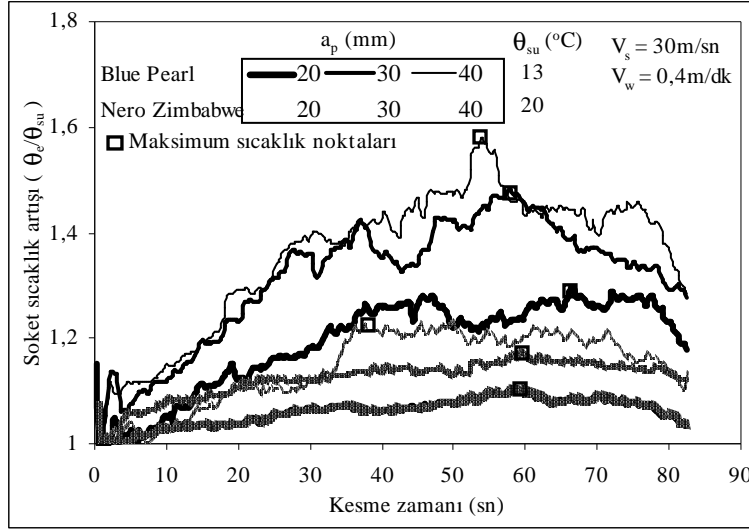
Özellikle kuru kesme koşullarında sıcaklık deneyi sonrasında kesici disk üzerinde yaklaşık 30-35°C lik bir sıcaklık ölçülmüş ve belirli bir zaman aralığında bu sıcaklığın oda sıcaklığı ile aynı seviyeye geldiği görülmüştür. Resim 5.10'da kesme işlemi sonrasında ölçülen sıcaklık dağılımı verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kesici disk üzerinde maksimum sıcaklıkların elmas soketler üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Ayrıca, termokupl üzerinde de önemli sıcaklıkların oluştuğu görülmüştür.



Resim 5.10 Deney sonrasında termokupl bağlanan elmas soketteki sıcaklık dağılımı.

5.4.2. Suyun Elmas Soket Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

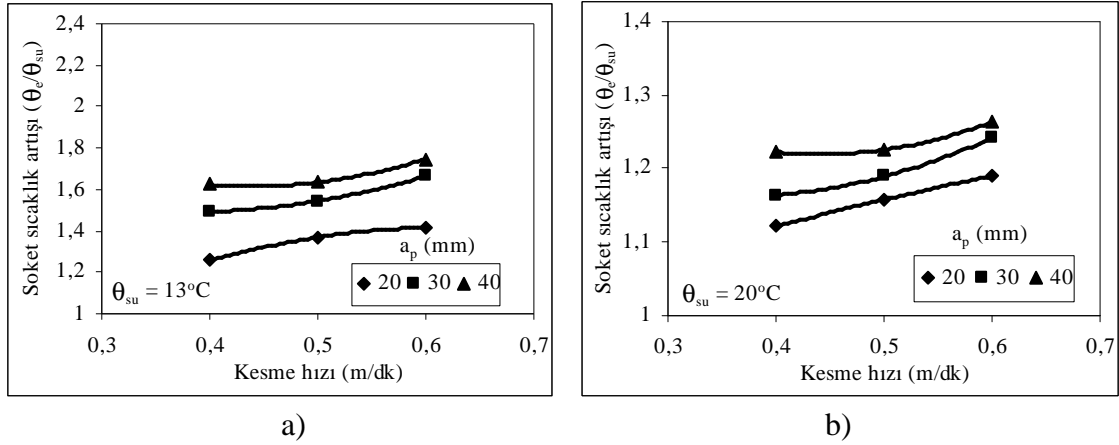
Su kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde farklı kesme parametreleri ele alınmıştır. Deneylerde su debisi olarak 15 lt/dk kabul edilmiş olmakla birlikte su debisinin etkisini görmek için ilave olarak bir dizi deneyler yapılmıştır. Şekil 5.36'da farklı kesme derinliklerinde elde edilen kesme sıcaklığının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Sıcaklık artış grafiklerinin belirlenmesinde kesme esnasında kullanılan suyun sıcaklığı göz önüne alınmıştır. Blue Pearl'ün kesme esnasındaki ortalama su sıcaklığı $\theta_{su}=13^{\circ}\text{C}$ ölçülürken, Nero Zimbabwe'de ise $\theta_{su}=20^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. θ_e kesme esnasında ölçülen sıcaklık değerini göstermektedir. θ_e/θ_{su} oranı ise soket sıcaklık artışını ifade etmektedir. En büyük elmas soket sıcaklık artışı tane yapısı daha iri olan Blue Pearl de elde edilmiştir. Burada, kesme sıcaklık değerleri üzerinde tane boyutunun olumsuz bir etkisi görünse de, çok daha farklı doğal taşlar ile yapılacak deneyler ile kesin bilgiler edinilebilir. Bütün sıcaklık değerlerinin belirli bir değer ile birlikte zamana bağlı olarak arttığı görülmüştür. Şekilde gösterilen maksimum sıcaklık noktaları kesme parametrelerine bağlı elde edilen grafiklerin belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 5.36 Farklı kesme derinliklerindeki soket sıcaklık artışının kesme zamanına bağlı değişimi.

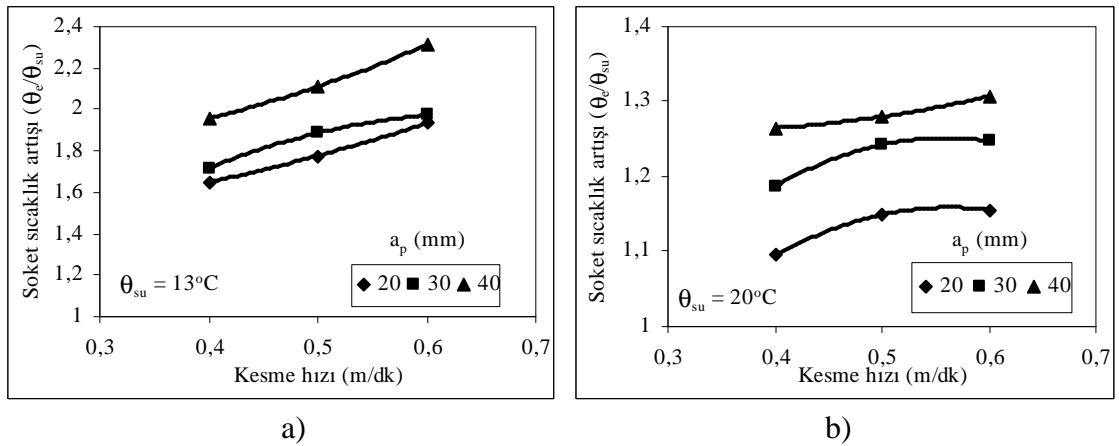
Şekil 5.37’de Blue Pearl ve Nero Zimbabwe için farklı kesme derinliklerine bağlı olarak elde edilen soket sıcaklık artışı verilmiştir. 30 m/sn hızda yapılan deneylerde kesme hızının artması ile elmas soket sıcaklığı artmıştır. Bütün kesme parametreler de maksimum sıcaklıklar Blue Pearl doğal taşında elde edilmiştir. Blue Pearl’ün daha iri tane yapısına sahip olması nedeniyle kesici disk taneleri keserek ilerlemektedir. Daha iri tane yapısı ve yüksek sertliğe sahip olan Blue Pearl’ün, diğer taş göre kesme sıcaklıkları bakımından olumsuz etkiye sahip olduğu görülmektedir. Fakat daha farklı doğal taşlar ile yapılacak çok sayıdaki deneylerde doğal taşlar arasındaki sıcaklık farkı daha iyi anlaşılabilir.

Maksimum sıcaklık artışları en büyük kesme derinliği ve hızda elde edilmiştir. Kesme derinliğinin artması kesici diskin doğal taş içerisinde daha fazla kalmasına yol açtığından sıcaklıklar önemli ölçüde artmaktadır. En büyük sıcaklıklar ise, kesme hızının 0,6 m/dk ve kesme derinliğinin 40 mm olduğu durumlarda elde edilmiştir. Kesme hızının her artışında elmas soket sıcaklığı yükselmiştir. Kesme hızının artışı ile kesici disk birim zamanda daha fazla kesme yaptığından soket sıcaklıkları da artmaktadır. Elmas soketler ile kesme işleminde sıcaklık artışını kesme parametreleri arasında değerlendirecek olursak, en fazla kesme derinliği, en az ise çevresel hızın etkilediği görülmüştür.

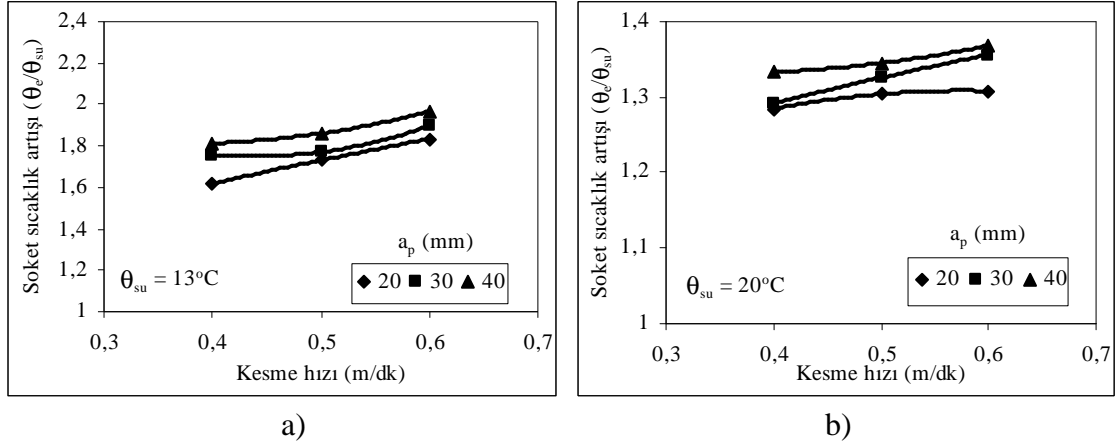


Şekil 5.37 Farklı kesme derinliklerine bağlı olarak elmas soket sıcaklık artışının değişimi, $V_s=30$ m/sn a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.

Şekil 5.38 ve 5.39’da sırasıyla 35 ve 40 m/sn çevresel hızlarda elde edilen sıcaklık artışları verilmiştir. 30 m/sn hızda olduğu gibi, bu çevresel hızlarda da kesme hızının artışı ile elmas soket sıcaklığının arttığı görülmüştür. Kesme hızının artması ile maksimum sıcaklık artışı % 8 olurken, kesme derinliğinin her artışında ise maksimum sıcaklık artışı % 15 dir. Blue Pearl’de yüksek kesme derinliklerinde elde edilen kesme sıcaklığı diğer doğal taşta göre yüksek elde edilmiştir. Blue Pearl için 35 m/sn çevresel hızın oldukça kritik bir hız olduğu görülmektedir.

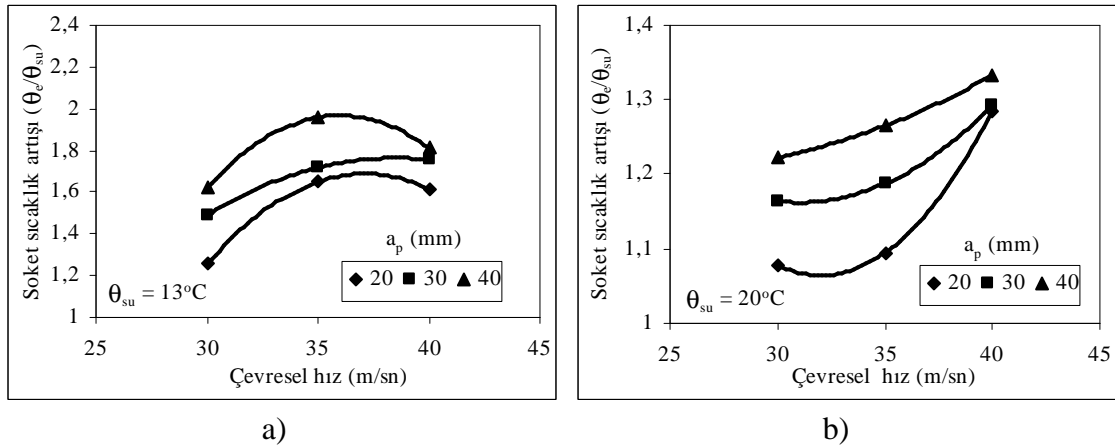


Şekil 5.38 Farklı kesme derinliklerine bağlı olarak elmas soket sıcaklık artışının değişimi, $V_s=35$ m/sn a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.



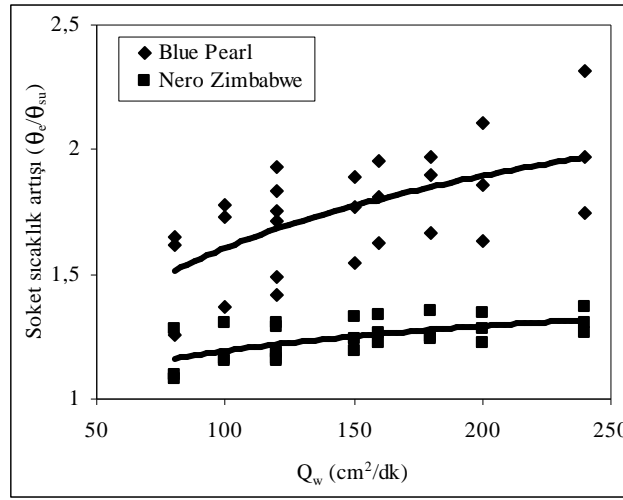
Şekil 5.39 Farklı kesme derinliklerine bağlı olarak elmas soket sıcaklık artışının değişimi, $V_s=40$ m/sn a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.

Şekil 5.40’da farklı kesme derinliğine bağlı olarak elde edilen sıcaklık artış grafikleri verilmiştir. Çevresel hızlarda elde edilen sıcaklık artışlarının kesme derinliği ve hızı göre farklı davranış sergilediği görülmüştür. Özellikle, Blue Pearl’de çevresel hızın her artışında elmas soket sıcaklığı bir miktar artarken, 40 m/sn de çevresel hızın bir önceki hıza göre düştüğü görülmüştür. Burada, Blue Pearl için kritik çevresel hızın 35m/sn olduğu söylenebilir. Benzer bir çalışmada da, (Asche 2000) farklı çevresel hızlara bağlı sıcaklık değişimlerinde kararsız bir yapının olduğunu göstermiştir. Nero Zimbabwe’de ise çevresel hızın artması ile elmas soket sıcaklığı önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca, kesme hızının artışında olduğu gibi en büyük elmas soket sıcaklıkları Blue Pearl’de gerçekleşmiştir.



Şekil 5.40 Farklı kesme derinliklerine bağlı olarak elmas soket sıcaklık artışının değişimi $V_w=0,4$ m/dk, a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.

Birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı elmas soket sıcaklık artışının değişimi Şekil 5.41’de verilmiştir. Birim zamanda kesilen doğal taş miktarının artması ile elmas soket sıcaklığı önemli ölçüde artmaktadır. Q_w ’nin artması ile kesici disk doğal taş içerisinde daha fazla kalmakta ve buna bağlı olarak daha fazla sürtünmeye sebep olmaktadır. Q_w ’nin artışı ile Blue Pearldeki sıcaklık artış miktarı, Nero Zimbabweye göre daha fazladır. Blue Pearldeki maksimum ve minimum sıcaklık farkı % 67 iken, Nero Zimbabwe deki bu fark ise % 27 dir.

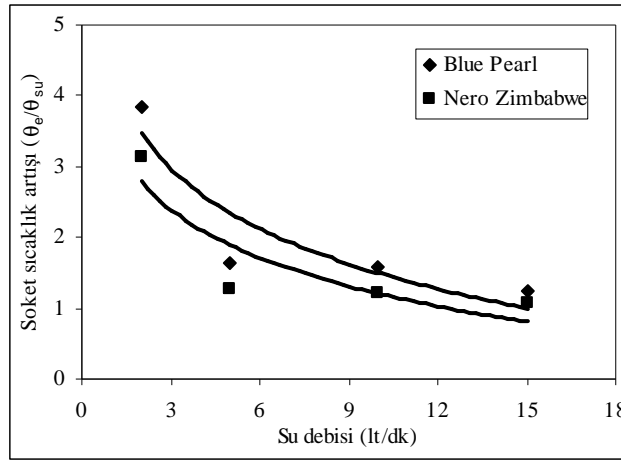


Şekil 5.41 Elmas soket sıcaklık artışının birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.

Sıcaklık değerlerine baktığımızda elde edilen bu değerlerin aslında elmas soket ömrü ve performansı açısından önemli bir risk teşkil etmediği görülmüştür. Bunun da en büyük etkeni kesme esnasında yeterli miktarda suyun kullanılmasıdır. Su, hem soket sıcaklığının artışı önlemekte, hem de çıkan talaşın ortamdan kolayca uzaklaşmasını sağlamaktadır.

Farklı su debilerine bağlı olarak elmas soket sıcaklık değişimi Şekil 5.42’de verilmiştir. En büyük sıcaklıkların Blue Pearl granit türünde meydana geldiği görülmüştür. Her iki doğal taş türü için, su debisinin artması ile elmas soket sıcaklık artışı önemli ölçüde düşmüştür. En büyük elmas soket sıcaklığı en düşük su debisinde ölçülmüştür. Ayrıca, en düşük su debisinde her iki doğal taş türü arasında % 23 lük bir sıcaklık farkının meydana geldiği görülmüştür. Deney sonuçlarından, su debisinin elmas soket

sıcaklığının belirlenmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. 5 ile 15 lt/dk'lık su debilerinde farkın maksimum % 31 olarak belirlenmiştir. Su debisinin 5 lt/dk dan 2 lt/dk ya düşürülmesinde ise sıcaklık artışı % 149 olarak ölçülmüştür. Buradan 5 lt/dk ile 15 lt/dk arasındaki debilerde suyun soket bölgesine rahat bir şekilde ulaştığı ve soğutma görevini yerine getirdiği görülmektedir. 5 lt/dk dan 2 lt/dk ya düşürülmesinde ise ani yükselen sıcaklık karşısında bu debideki suyun yeteri kadar soğutma görevini yerine getiremediği görülmüştür.

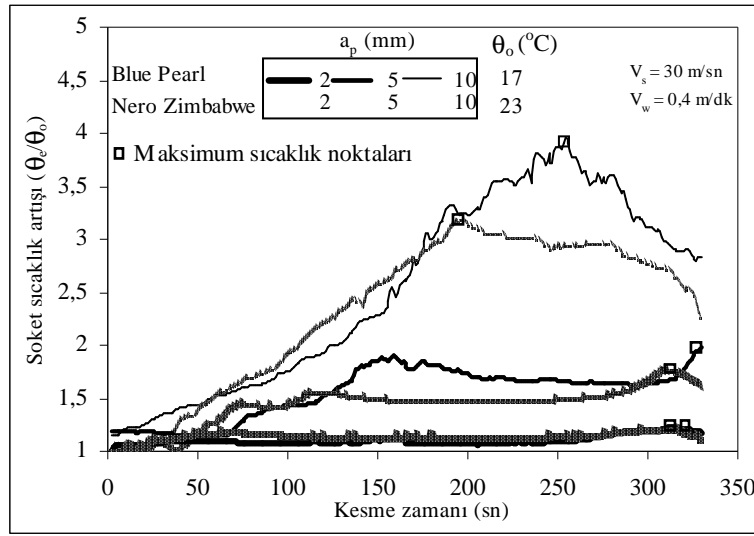


Şekil 5.42 Farklı su debilerine bağlı olarak elmas soket sıcaklığının değişimi ($V_s=30$ m/sn, $V_w=0,4$ m/dk, $a_p=20$ mm).

5.4.3. Kuru Kesme Koşullarındaki Elmas Soket Sıcaklıklarının Belirlenmesi

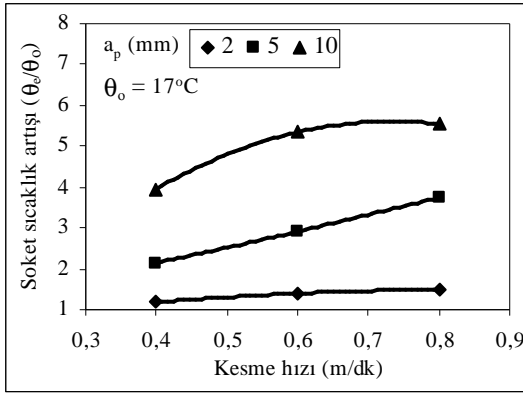
Kuru kesme koşullarında kesme derinliklerine bağlı elmas soket sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 5.43'de verilmiştir. Her bir parametre için en az 5'er deney yapılmış ve bunların ortalamaları alınarak, maksimum sıcaklık noktaları belirlenmiştir. Sıcaklık ölçümlerinde kesme esnasındaki gerçek sıcaklık artışını elde etmek için, kesme esnasındaki oda sıcaklığı (θ_o) referans alınmıştır. Hem Blue Pearl hem de Nero Zimbabwe doğal taşları için yapılan deneyler farklı zamanlarda gerçekleştiğinden oda sıcaklığında da bir takım farklılıklar gözlenmiştir. Blue Pearl kesme deneyleri esnasında oda sıcaklığı 17°C , Nero Zimbabwe için ise ortalama 23°C olarak belirlenmiştir. Kesme işleminin başlamasıyla birlikte kesme sıcaklığının zamanla arttığı görülmüştür. Düşük kesme derinliklerinde sıcaklık lineer bir şekilde artarken, kesme derinliklerinin

büyümesi ile sıcaklığın belirli bir noktaya geldikten sonra düşme eğilimi göstermiştir. Bu nokta maksimum sıcaklık noktası olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, bir deney yaptıktan sonra sıcaklığı artan elmas socketin oda sıcaklığına dönmesi için belirli bir bekleme süresi olmuştur ve ondan sonra diğer deneye geçilmiştir. Kuru kesme şartlarındaki bütün deneyler bu şekilde yapılmıştır. Kuru kesme koşullarında socket kesme yeteneğini çabuk kaybettiğinden sürekli yumuşak ve aşındırıcı özelliği fazla olan bir doğal taş ile bileme işlemi yapılmıştır.

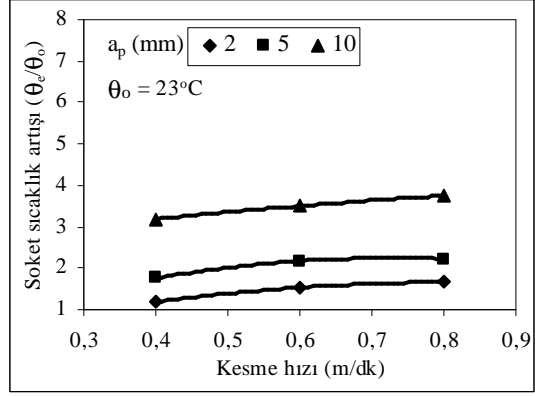


Şekil 5.43 Elmas socket sıcaklığının kesme zamanına bağlı değişimi.

Kuru kesme koşullarında farklı kesme derinliklerine bağlı socket sıcaklık artışı Şekil 5.44'de verilmiştir. Maksimum elmas socket sıcaklıkları ilerleme ve kesme derinliğinin en büyük olduğu durumda elde edilmiştir. Kesme derinliğinin artması ile socket sıcaklıkları önemli ölçüde artmıştır. İlerleme hızının artışı ile elmas socket sıcaklıkları artmış olup, bu artışta kesme derinliğinin daha belirgin etkisi görülmektedir. Blue Pearl granitinde elde edilen sıcaklık artış değerleri Nero Zimbabwe granitine göre daha yüksek olmasına rağmen, bazı parametrelerde birbiri ile yakın değerler elde edilmiştir. Yüksek kesme derinliklerinde Blue Pearlün daha yüksek kesme sıcaklıklarına maruz kaldığı görülmüştür.



a)

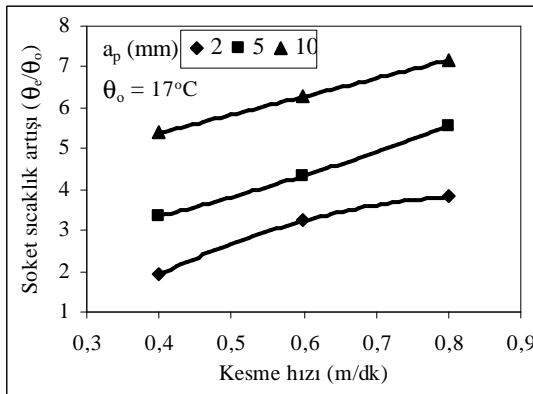


b)

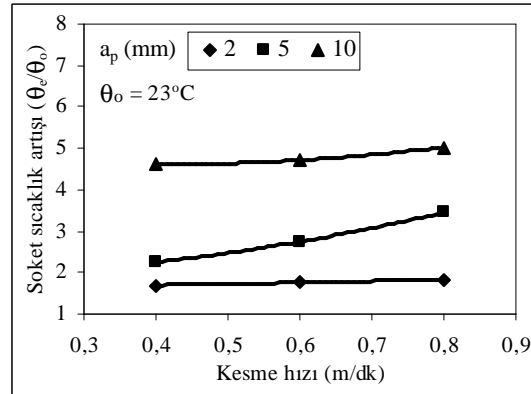
Şekil 5.44 Kesme derinliğine bağlı elmas soket sıcaklığının değişimi, V_s=30 m/sn

a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.

Farklı kesme parametrelerine bağlı olarak sırasıyla 35 m/sn ve 40 m/sn hızlarda elde edilen elmas soket sıcaklık artışları sırasıyla Şekil 5.45 ve 5.46'da verilmiştir. 30 m/sn de olduğu gibi bu çevresel hızlarda da kesme hızı ve kesme derinliğinin artması ile soket sıcaklıkları önemli ölçüde artmaktadır. En büyük elmas soket sıcaklıkları 0,8m/dk hızda ve 10 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir. Bütün parametrelerde Blue Pearl için elde edilen sıcaklık değerleri Nero Zimbabwe için elde edilen değerlere göre daha fazladır. Blue Peral'ün bütün çevresel hızlarda maksimum elmas soket sıcaklıkları 35m/sn hızda elde edilmiş ve soket sıcaklıkları diğer doğal taş'a göre daha yüksek ölçülmüştür.



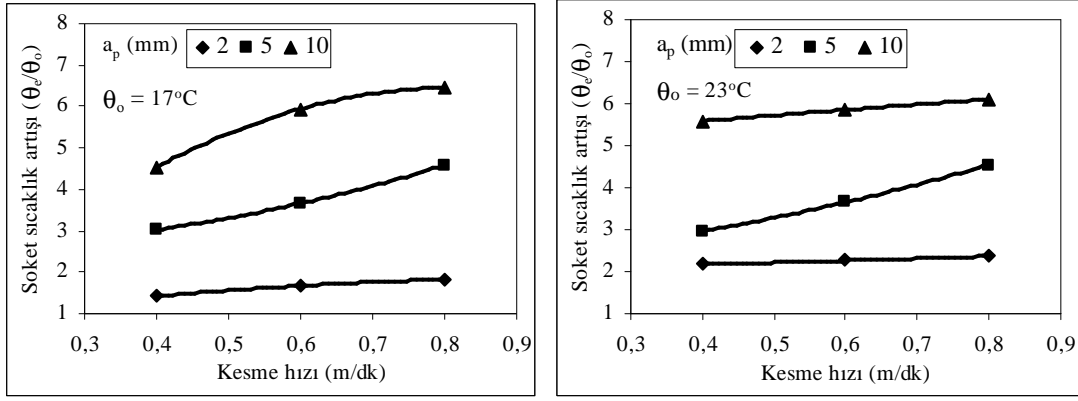
a)



b)

Şekil 5.45 Kesme derinliğine bağlı elmas soket sıcaklığının değişimi, V_s=35 m/sn

a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.



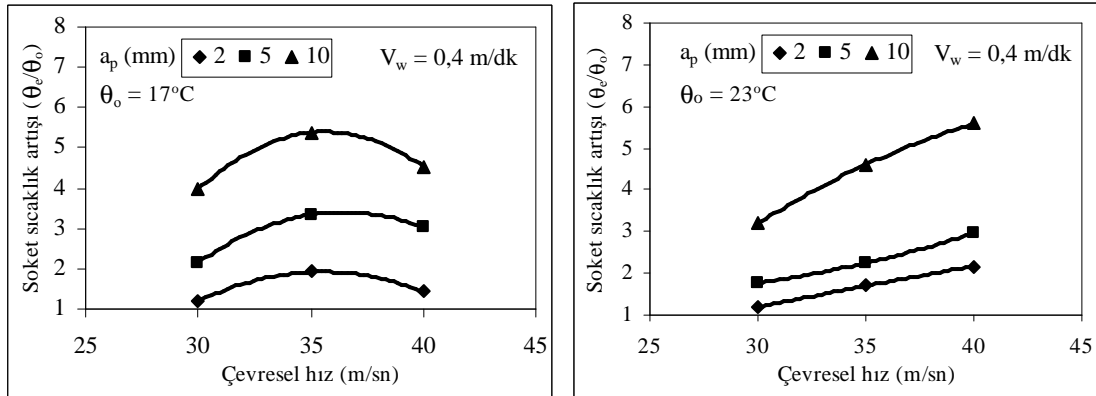
a)

b)

Şekil 5.46 Kesme derinliğine bağlı elmas soket sıcaklığının değişimi, V_s=40 m/sn

a) Blue Pearl, b) Nero Zimbabwe.

Şekil 5.47’de farklı kesme derinliğine bağlı olarak elmas soket sıcaklık artışları verilmiştir. Burada kesme hızı ve kesme derinliğine göre farklı olarak elde edilmiştir. Nero Zimbabwe’de kesme derinliği ve kesme hızı gibi çevresel hızın artması ile elmas soket sıcaklığı artmaktadır. Burada, Nero Zimbabwe’nin ince taneli olması ve çevresel hız artışı ile birim zamandaki kesme sayısının artmasının soket sıcaklığını yükselttiği düşünülmüştür. Ancak, Blue Pearl’de sulu kesme koşullarında olduğu gibi çevresel hızın 35 m/sn den 40 m/sn ye geçmesi ile soket sıcaklıkları bir miktar düşmüştür.



a)

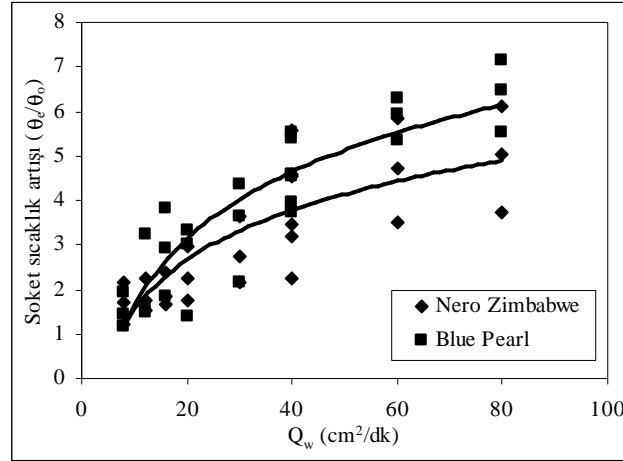
b)

Şekil 5.47 Farklı çevresel hızlarda elmas soket sıcaklığının değişimi a) Blue Pearl, b)

Nero Zimbabwe.

Kuru kesme koşullarında birim zamanda kesilen doğal taş miktarının artması ile birlikte elmas soket sıcaklığı önemli ölçüde artmaktadır (Şekil 5.48). Birim zamanda kesilen

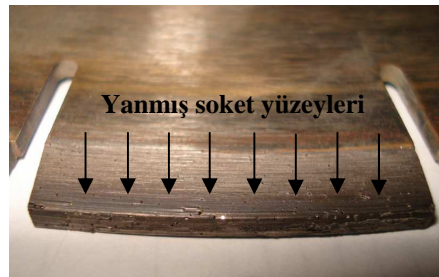
doğal taş miktarının artışı kesme derinliği ve ilerleme artışı ile doğru orantılıdır. Maksimum soket sıcaklık artışı $Q_w=80\text{cm}^2/\text{dk}$ ve 40 m/sn çevresel hızda % 7.3 lük bir artış olarak bulunmuştur. Blue Pearl'de elde edilen soket sıcaklıkları diğer doğal taşla göre oldukça yüksek görülmektedir.



Şekil 5.48 Elmas soket sıcaklığının birim zamanda kesilen doğal taş miktarına bağlı değişimi.

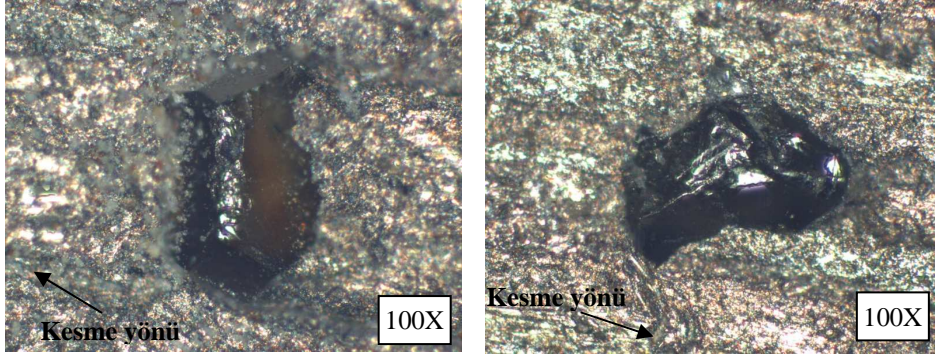
5.4.4. Kuru kesme şartlarında elmas soketin incelenmesi

Elmas soket sıcaklığını belirlemek için kuru kesme koşullarında yapılan deneylerde soket yüzeyi görsel ve mikroskobik olarak incelenmiştir. Resim 5.11'de kuru kesme işleminden sonra elmas soket yüzeyinin görüntüsü verilmiştir. Şekle baktığımızda, elmas soketin ön yüzeyinin yandığı ve buna paralel olarak sürtünmeden dolayı yan yüzeylerinin de bir kısmının yandığı görülmüştür. Bu yüzeyler elmas soket ile doğal taş arasında meydana gelen kuru sürtünmeden dolayı yanmıştır. Ayrıca, yapılan incelemelerde özellikle kuru kesme şartlarındaki en büyük derinlik olan 10 mm kesme derinliğindeki yanma daha fazladır.



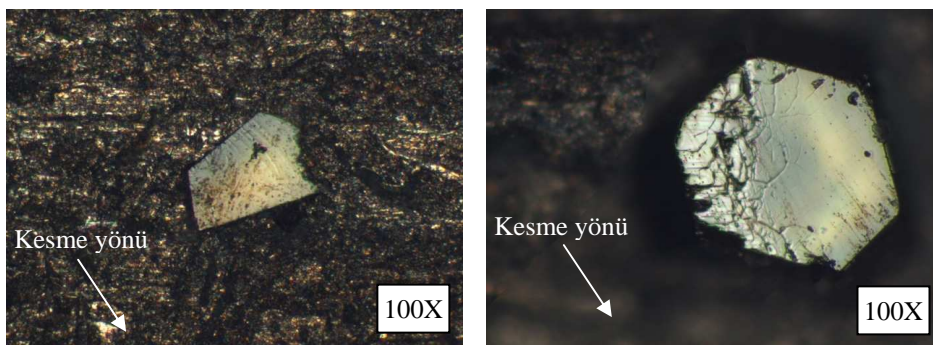
Resim 5.11 Kuru kesme işleminden sonra elmas soket yüzeyi.

Elmas soket yüzeyleri optik mikroskop ile incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda elmas taneciklerde yanma ve düzleşme olarak iki farklı hasar türü görülmüştür. Resim 5.12’de soket üzerindeki yanmış elmas tanecikler gösterilmiştir. Yanma ile birlikte elmas tanecik yüzeylerinde bozulmalarda meydana gelmiştir.



Resim 5.12 Yanmış elmas tanecikleri.

Yanmış elmas soket üzerinden elde edilen düzleşmiş elmas tanecikleri Resim 5.13’de verilmiştir. Bir elmas tanecik üzerine mekanik kuvvetler etki ettiği gibi, özellikle ısıll kuvvetlere de maruz kalabilmektedir. Bir elmas tanecik üzerine etki eden sıcaklık yaklaşık 1000°C civarında yüzeyde bozulmalar meydana gelebilmektedir [Xu 2001]. Bu bozulmalara paralel olarak yüzeye mekanik kuvvetlerin etki etmesi sonucu elmas tanecik yüzeyi düzleşmektedir. Düzleşmiş elmas tanecikleri genellikle soketin orta bölgelerinde görülmüştür.

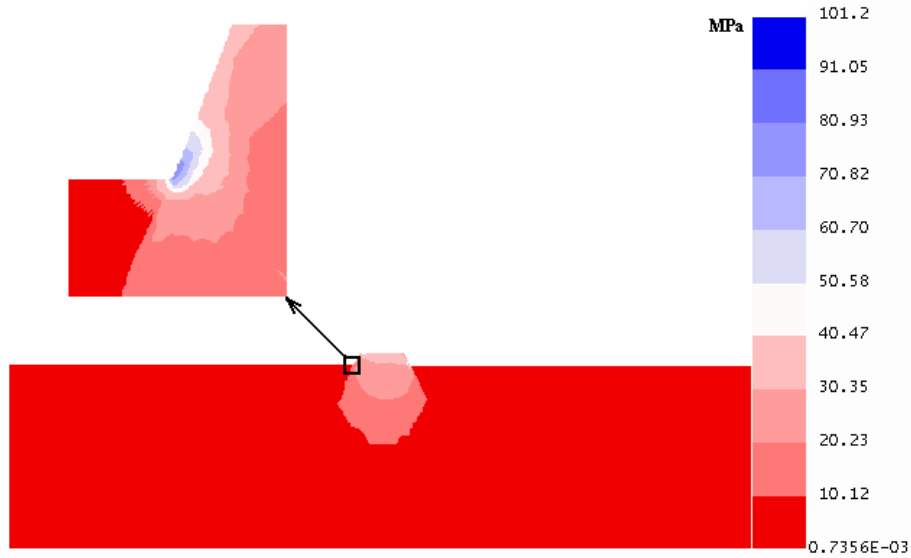


Resim 5.13 Düzleşmiş elmas tanecikleri.

5.5. Elmas Soketin Sonlu Elemanlar Modeli

5.5.1. Gerilme Analizi Sonuçları

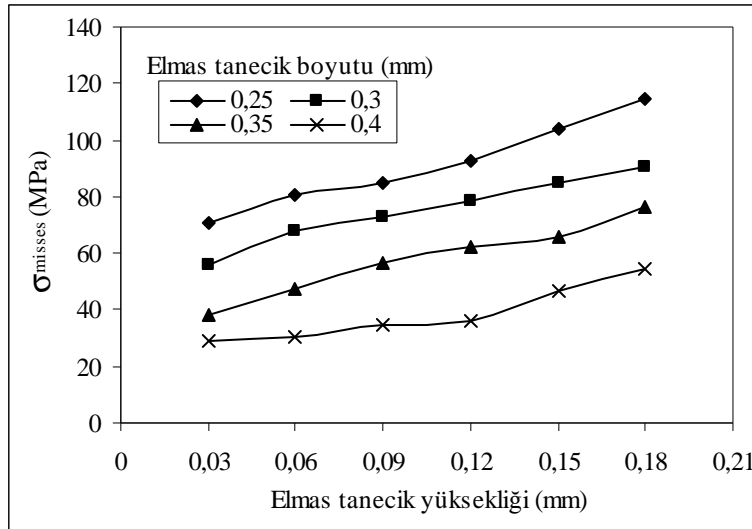
Elmas kesiciler ile kesme işlemi esnasında, kesici disk üzerine etki eden kuvvetler elmas soketlere dağılmaktadır. Her bir soket üzerine etki eden kesme kuvvetleri de kendi içerisinde çok sayıda elmas taneciklere etki etmektedir. Elmas tanecikler üzerine etki eden normal ve teğetsel kuvvetler, elmas tanecikleri farklı şekillerde zorlamaktadır. Bu zorlamanın etkisi ile elmas tanecik ve onu tutan matrikste önemli gerilmeler meydana gelmektedir. Şekil 5.49'da bir elmas tanecik ve matriks üzerindeki eş değer gerilme (Von Misses) dağılımı verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere maksimum gerilmeler elmas tanecik ile matriks ara yüzeyinde meydana gelmektedir. Elmas tanecik boyutu ve elmas tanecik yüksekliğine bağlı olarak maksimum gerilmelerin bölgesi değişebilmektedir.



Şekil 5.49 Elmas tanecik ve soket matriks üzerindeki Von Misses gerilme dağılımı.

Şekil 5.50'de elmas tanecik boyutuna bağlı ve matriksten çıkan kısmın yüksekliğine bağlı olarak elde edilen eş değer gerilmelerin değişimi verilmiştir. Bu gerilmeler elmas tanecik ile matriksin birleştiği ve maksimum gerilme yoğunluğunun meydana geldiği kritik bölgeden alınmıştır. Elmas tanecik boyutunun büyümesi ile gerilmelerin önemli ölçüde düştüğü görülmektedir. Bu bakımdan maksimum gerilmeler elmas tanecik

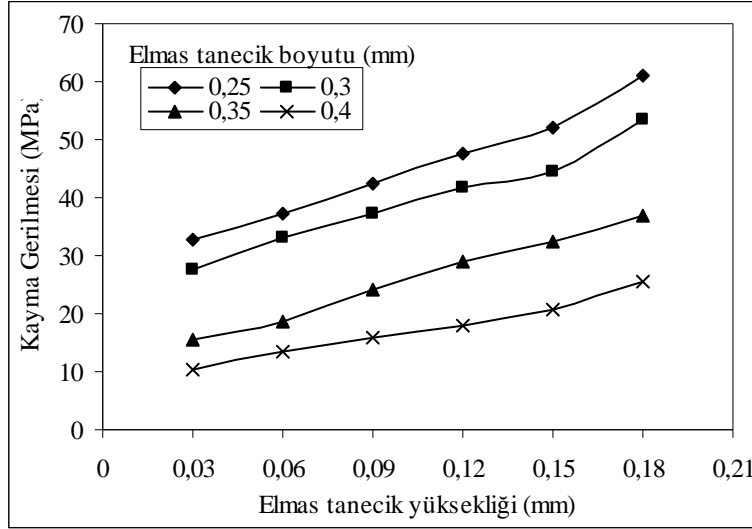
boyutunun en düşük olduğu 0.25 mm de elde edilmiştir. Elmas tanecik yüksekliğinin artması ile de ara yüzeydeki gerilmeler lineer olarak artış göstermektedir. Elmas tanecik yüksekliğinin artması iki farklı şekilde olmaktadır. Bunlardan birincisi; soket matriksinin aşınmasıyla birlikte elmas taneciğinin yüzeye çıkması, ikincisi de; kesme yönüne bağlı olarak tanecik etrafında meydana gelen erozif aşınmanın (Resim 6.2) etkisiyle soket etrafının çukurlaşmasıdır. Her iki durumda da elmas taneciğine etkileyen kuvvetler artacak dolayısıyla da gerilmeler artacaktır. Elde edilen gerilmelerde tanecik yüksekliğinin elmas boyutuna göre daha belirleyici olduğu görülmüştür. Elmas tanecik boyutunun artırılmasında maksimum gerilme artışı % 20 civarında iken, elmas tanecik yüksekliğinin artışında ise % 40 dan fazladır.



Şekil 5.50 Von Misses gerilmelerinin elmas tanecik boyutuna bağlı değişimi.

Elmas kesici soketlerde, elmas ile matriks arasında bir ara yüzey bağı oluşmaktadır. Bu bağı mukavemeti matriks içerisindeki elementlere ve sinterleme koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu bağı özellikle kayma gerilmelerine karşı dirençli olması istenir. Teğetsel ve normal kuvvetlerin etkisi ile elmas tanecik ve soket arasında önemli kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Elmas ve matriks arasında oluşan bu bağı sürekli kayma gerilmelerine maruz kalmakta ve bunun sonucunda ara yüzeyde çatlak oluşumları meydana gelmektedir. Bu bağı kuvvetli olması, kayma gerilmelerinden meydana gelebilecek bir hasarı engellemiş olur. Şekil 5.51’de kayma gerilmelerinin elmas tanecik boyutuna ve tanecik yüksekliğine bağlı değişimi verilmiştir. Eş değer

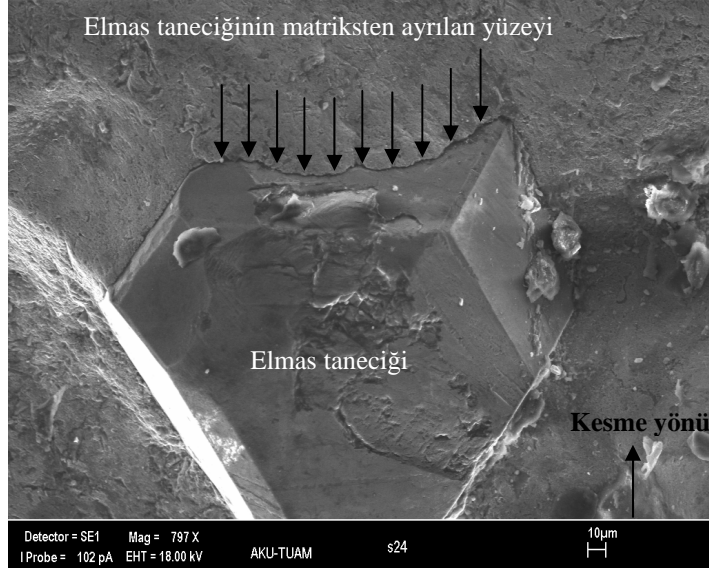
gerilmelerde olduğu gibi elmas tanecik boyutunun artması ile kayma gerilmeleri önemli ölçüde azalmaktadır. Minimum kayma gerilmeleri, elmas tanecik boyutunun maksimum olduğu durumda elde edilmiştir. Ayrıca, elmas tanecik yüksekliğinin artması ile kayma gerilmeleri önemli ölçüde artmaktadır.



Şekil 5.51 Kayma gerilmelerinin elmas tanecik boyutuna bağlı değişimi.

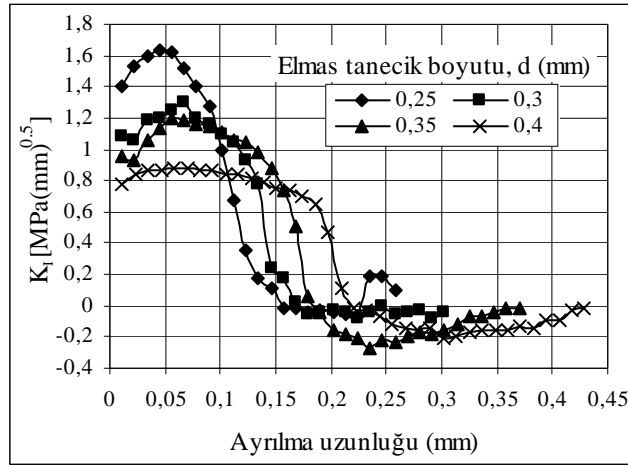
5.5.2. Kırılma Analizi Sonuçları

Elmas soket üretiminde elmas ile matriks arasında güçlü bir bağ reaksiyonunun olması istenir. Matriks ile elmas tanecik arasındaki bağın güçlü olması hem soket ömrünü uzatır hem de elmas dökülmesini en aza indirir. Buna karşın, kesme esnasında sokete etkiyen şok yükler taneciğin matriksten ayrılmasına sebep olabilmektedir. Resim 5.14'de bir elmas taneciğinin tek bir yüzeyinin matriksten ayrılmış durumu SEM analizinde gösterilmiştir. Elmas soket ile matriks arasında meydana gelen bu hasar için kırılma mekaniği yaklaşımı kullanılarak sonlu elemanlar çözümü yapılmıştır.



Resim 5.14 Elmas tanecik ve matriks yüzeyiğinin SEM görüntüsü.

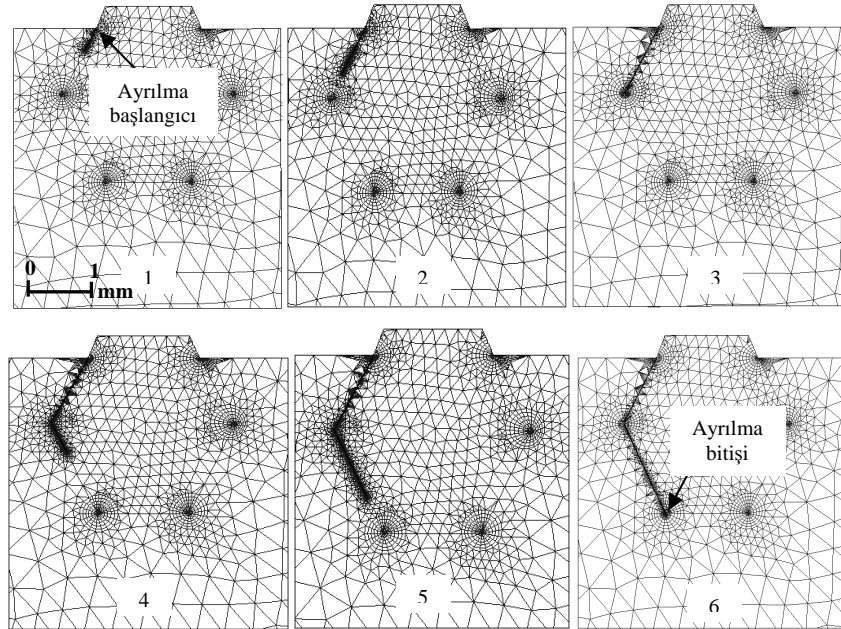
Resim 5.14’de verilen hasar durumu göz önüne alınarak yapılan sonlu elemanlar modelinde, matriks ile elmas arasındaki ayrılan bölgenin analizi yapılmıştır. Bu analizde ara yüzeydeki ayrılma çatlak olarak tanımlanmıştır. Elmas taneciğine etkiyen normal ve teğetsel kuvvetlerin etkisiyle çatlak ucundaki gerilme şiddeti faktörü kritik değere ulaştığında çatlak ilerleyecektir. Elmas tanecik üzerine etkiyen kuvvetler tekrarlı kuvvetler şeklindedir. Şekil 5.52’de farklı elmas tanecik yüksekliklerine bağlı olarak K_I in değişimi verilmiştir. Dolayısıyla tekrarlı olan bu kuvvetler tanecik ile matriks arasındaki süreksizliğin büyümesine neden olacaktır.



Şekil 5.52 Farklı elmas tanecik yüksekliklerine bağlı olarak K_I in değişimi.

Çatlak ucunda iki farklı gerilme şiddeti faktörü (K_I ve K_{II}) oluşur. Ayrılma uzunluğunun artması ile birlikte K_I bir miktar artmakta, 0.05 mm den sonra ise düşmeye başlamaktadır. Bu durum elmas taneciğinin köşe noktasına kadar devam etmektedir. Köşe noktasından sonra K_I çok düşük değerlerde kalmakta ve seviyesini korumaktadır.

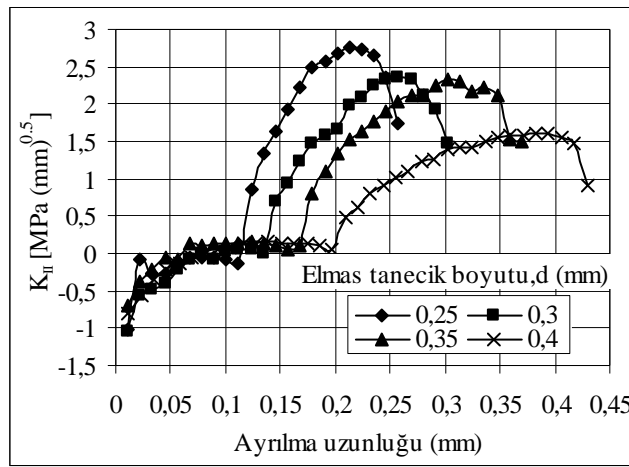
Elmas tanecik ile matriks ara yüzeyinde meydana gelen çatlak uzunluğunun değişimi Şekil 5.53’de de verilmiştir. Elmas taneciğinin ayrılmasında belirli bir bölgeye kadar (Şekil 5.53 deki 3. bölge) Mode I olarak bilinen açılma modu daha etkindir. Bu durumda kesme esnasında özellikle teğetsel kuvvetlerin normal kuvvetlere göre daha etkin olduğu görülmektedir. En büyük gerilme şiddet faktörü en küçük elmas tanecik boyutunda elde edilirken, en düşük gerilme şiddet faktörü ise elmas tanecik boyutunun en büyük olduğu durumda elde edilmiştir. Buradan meydana gelebilecek bir ayrılma hasarında, küçük elmas taneciğinin büyüğe göre daha yatkın olduğu sonucu çıkarılabilir. Belirli bir ayrılma uzunluğundan sonra K_I negatif değerlere düşmekte ve belirli bir uzunluktan sonra tekrar pozitif değere doğru ilerlemektedir. K_I in bu yükselişi Mod I in tekrar etkin olmaya başladığının bir göstergesidir.



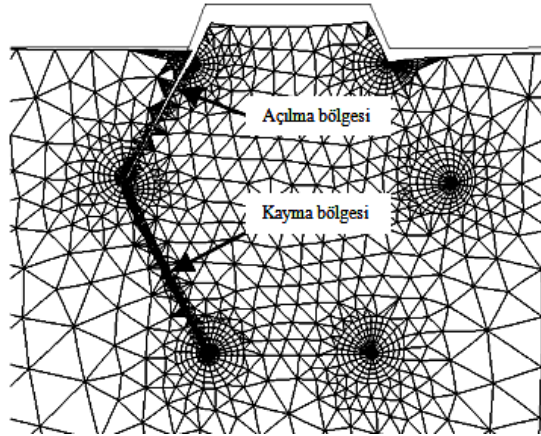
Şekil 5.53 Elmas tanecik ve matriks arasında meydana gelen ayrılmanın değişimi.

Farklı elmas tanecik boylarına bağlı olarak elde edilen Mod II deki K_{II} değerleri Şekil 5.54’de verilmiştir. K_{II} nin K_I deki değerlerden farklı olarak, belirli bir ayrılma

uzunluğuna kadar etkinliği yoktur. Fakat elmas taneciğinin köşe noktasından (Şekil 5.53 deki 4. bölge) atlağın hem yön değiştirdiği hem de Mod I e göre daha etkin olduğu görülmüştür. Matriks ile elmas tanecik arasında meydana gelebilecek bir ayrılma 3. bölgedeki sonra (Şekil 5.53) köşe noktasından sonra Mod II etkisinde gerçekleşmektedir. Yani elmas taneciğinin köşe noktasından sonra ayrılma kayma modu ile gerçekleşmektedir. Şekil 5.55’de açılma ve kayma bölgeleri gösterilmiştir. Elmas tanecik bölgesinde meydana gelebilecek bir hasar 3. bölgeye kadar açılma şeklinde gerçekleşmekte, 3 ile 6. bölümler arasında kayma şeklinde ortaya çıkmaktadır.



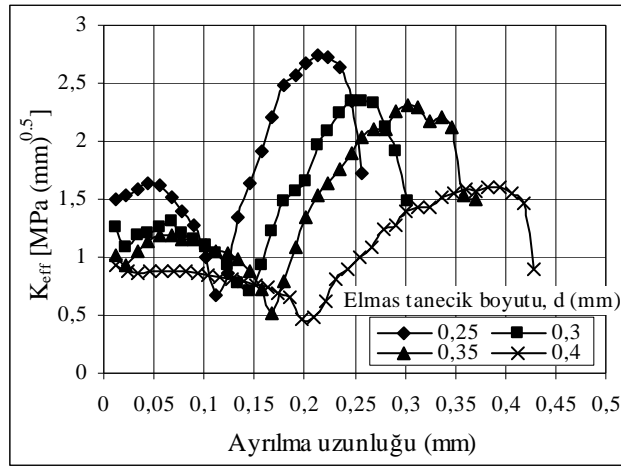
Şekil 5.54 Farklı elmas tanecik ykseliklerine bağlı olarak K_{II} in değişimi.



Şekil 5.55 Maksimum ayrılma uzunluğundaki elmas taneciğin deformasyon bölgeleri.

Birleşik mod durumunda her iki gerilme şiddet faktörünün birlikte değerlendirilmesi amacıyla denklem (3.34) ile etkin K değerleri kullanılmıştır. Farklı elmas tanecik

yüksekliklerine bağlı olarak K_{eff} in değişimi Şekil 5.56’da verilmiştir. Bütün elmas boyutlarında K_{eff} belirli bir uzunluğa kadar yükseldikten sonra düşme eğilimi göstermiştir. Minimum değeri elmas taneciğin köşe noktasında elde edilmiştir. Çatlak Şekil 5.53 deki 3. bölgede hem K_I hem de K_{II} etkisi minimum olmaktadır. Bu durumdan sonra K_{eff} hızlı bir şekilde yükselerek maksimum değerlere ulaşmaktadır. Elmas tanecikte meydana gelebilecek kritik hasar bölgesi de maksimum noktadır. Bu noktadan sonra tekrar düşme eğilimi göstermekte ve K_{II} nin etkisi azalmaya başlamaktadır.



Şekil 5.56 Farklı elmas tanecik yüksekliklerine bağlı olarak K_{eff} in değişimi.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı doğal taş ve elmas kesiciler göz önüne alınarak değişik kesme parametreleri ve koşullarına bağlı olarak elmas kesici disklerin performansı deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, ilk olarak Blue Pearl graniti için tek bir elmas kesici kullanılarak varyasyon deneyleri yapılmıştır. Varyasyon deneyinde, kesici disk üzerine etki eden kesme kuvvetleri, güç tüketimi, spesifik enerji ve gürültü değerleri elde edilmiştir. Kesme parametrelerinin bu değerlerin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Kesme parametreleri içerisinde en büyük etkiyi kesme derinliği sağlamaktadır. Kesme derinliğinin artışı ile kesme kuvvetleri ve güç tüketimi etkin bir şekilde artmıştır. En düşük etkiyi ise, çevresel hız göstermiştir. Elde edilen bu veriler ile birim zamanda kesilen optimum doğal taş miktarı belirlenip, kesme performans testlerinde bu parametre göz önüne alınmıştır.

Sekiz farklı elmas kesici ile yapılan kesme performans testlerinde güç tüketimi, kesme kuvvetleri, spesifik enerji ve aşınma davranışları belirlenmiştir. Kesici disk üzerindeki elmas soket sayısının artması güç tüketimi ve teğetsel kuvvetlerin önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Bu da kesici diskin kesme doğrultusunda kolayca ilerlediğini göstermektedir. Kesme esnasında soket sayısının artması soket kanallarının küçülmesine neden olduğundan, kesme ortamından çıkan talaşlar ortamdan hemen uzaklaşamamakta ve normal kuvvetlerin artmasına neden olmaktadır. Kesme esnasında yanıl kuvvetlerinin elmas soket yüksekliğinden daha çok etkilendiği ilk defa bu çalışma kapsamında belirlenmiştir. Soket yüksekliğinin artması daha fazla yanıl kuvvetlere maruz kalmıştır.

Kesici disklerdeki elmas konsantrasyonlarının kesme performansını belirlemede önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Elmas konsantrasyonunun artması ile kesme kuvvetleri, güç tüketimi ve spesifik aşınma önemli ölçüde azalmaktadır. Tanecik sayısının artması birim tane başına düşen kuvvet miktarlarının azalmasına neden olduğu için kesme performansı da önemli ölçüde artmaktadır. Elmas konsantrasyonunun artması soket ömrü için önemli bir parametre olarak görülmüştür.

Matriks kompozisyonundaki değişimler de kesme performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle aşınma davranışları matriks bileşiminin değişiminden önemli ölçüde etkilenmiştir. Matrikslere katılan Cu/Sn bileşimini artırmak suretiyle değişik sertliklerde elmas soketler üretilmiş olur. Elmas soket sertliğinin azalması ile kesici disklerde kesme performansı önemli ölçüde azalmıştır. Bu durumu güç tüketimi, spesifik enerji ve aşınma davranışlarından görmek mümkündür. Daha sert elmas soketlerde elde edilen aşınma miktarları önemli ölçüde azalmıştır.

Elmas taneciklerde görülen genel hasar türleri elmas kırılması, elmas düzleşmesi ve elmas dökülmesidir. Bu çalışmada bu hasar türleri içerisinde ağırlıklı olarak makro ve mikro düzeydeki elmas kırılmaları tespit edilmiştir. Elmas kırılmalarının asıl sebebi kesme modunun aşağı yönlü seçilmesidir. Elmas konsantrasyonunun artması ile matriks yüzeyindeki yeni elmas tanecik (hiçbir hasara uğramamış) oranı önemli ölçüde artmaktadır. En düşük yeni elmas tanecik yüzdeleri matriks sertliğini artıran W-Co oranının azaldığı B5, B6, B7 ve B8 elmas kesicilerde elde edilmiştir. Elmas tanecik düzleşmesi de özellikle bu elmas kesicilerde daha belirgin artmıştır. Bu da kesme kuvvetlerini önemli ölçüde artırmıştır. Bu çalışmadaki elmas hasar türleri literatürdeki çalışmalar ile benzer şekilde elde edilmiştir.

Suya alternatif olabilecek farklı soğutma sıvılarının kesici disk performansı üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde ilk defa bu çalışmada incelenmiştir. Su kullanımından farklı olarak soğutma sıvısına kayganlaştırıcı özellik veren bor yağı, sıvı sabun ve Ace-Cool karıştırılmıştır. En düşük kesme kuvvetleri, güç tüketimi ve aşınmalar suya katılan bor yağında elde edilmiştir. Kayganlaştırıcı özelliğinden dolayı kesme esnasında talaş akışı daha hızlı olduğundan kesme kuvvetleri ve güç tüketimi önemli ölçüde azalmıştır. Kesme performansı açısından değerlendirildiğinde, kullanılan değişik soğutma sıvılarının suya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bir doğal taş fabrikasında düşük enerji maliyeti ve yüksek kesme performansı sağlanması isteniyorsa, su bor yağı karışımını filtre ederek sisteme tekrar gönderilmesi gerekmektedir. Kesme esnasında kullanılan su bor yağı karışımı düşük enerji ve yüksek kesme performansı sağladığı gibi, makinenin suya karşı korozyon direncini önemli ölçüde artıracaktır.

Kesme esnasında elmas soket üzerindeki sıcaklık deneysel olarak incelenmiştir. Soğutma için su kullanılarak yapılan çalışmalarda, kesme derinliği ve kesme hızının artışı ile sıcaklığın arttığı görülmüştür. Çevresel hızın kesme sıcaklığı üzerinde önemli etkisinin olduğu görülmüştür. Gerek literatürden elde edilen veriler ve gerekse bu çalışma kapsamında ortaya konulan sonuçlar yeterince soğutma sıvısı kullanıldığı sürece, sokette meydana gelen sıcaklığının çok ciddi boyutlara ulaşmadığını göstermiştir. Dolayısıyla sokette meydana gelen maksimum sıcaklığın soket ömrü açısından bir risk taşımayacağını söylemek mümkündür.

Yapılan bu çalışmaya paralel olarak soket sıcaklığını etkin bir şekilde görmek için kuru koşullarda kesme işlemleri yapılmıştır. Kuru kesme koşullarında daha sığ kesme derinlikleri tercih edilmiştir. Kuru kesme koşullarında elmas soket sıcaklıklarının önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada ilk defa kullanılan termal kamera ile değişik ölçümler yapılmış ve kullanılan termokupl ile ölçme sonuçlarına yakın değerler elde edildiği görülmüştür. Soket sıcaklığının belirlenmesine yönelik literatürde çok fazla çalışma olmamasına karşın, yapılan çalışmalarda sıcaklık değerleri ya doğal taş içersine yerleştirilmiş termokupdan alınmakta ya da soket içersindeki termokupdan ölçülmektedir. Çalışmamızda kullandığımız sıcaklık ölçüm sistemi literatürdeki bu sistemlerden çok farklı olup, sıcaklığın anlık olarak alınması ve saniyede 20.000'e kadar veri alabilme kapasitesinin olması bu sistemi diğerlerinden daha avantajlı hale getirmektedir.

Elmas tanecik ve matriks mikro modelleme yapılarak, gerilme ve kırılma davranışları sonlu elemanlar metodu ile ilk defa bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Gerilme ve kırılma analizlerinde kritik bölge olarak elmas tanecik ve matriks ara yüzeyi seçilmiştir. Çünkü elmas hasarı genellikle bu bölgelerde meydana gelmektedir. Analizlerde, farklı elmas boyutları ve aşınma durumları göz önüne alınarak elmas tanecik yükseklikleri araştırılmıştır. Elmas tane boyutunun büyümesi ile birlikte eş değer gerilme (Von Misses) değerleri azalmaktadır. Elmas tanecik yüksekliklerinin artması meydana gelen gerilme değerlerini önemli ölçüde artırmıştır. Buradan özellikle aşınmanın artması ile elmas tanecik ve matriks ara yüzeyindeki gerilmelerin önemli ölçüde arttığı söylenebilir. Bu durum özellikle elmas tanecik ömrü açısından risk teşkil etmektedir. Kesme deneylerinde SEM görüntülerinde elde edilen elmas tanecik ayrılması kırılma

analizi ile incelenmiştir. Elmas tanecik ayrılmasına bağlı olarak gerilme Şiddet faktörü belirlenmiştir. Elmas taneciklerde meydana gelen hasarlar I. ve II. Mod Őekilleri olan ayrılma ve kayma Şeklinde geręekleŐtięi görülmüştür. Elmas tanecik boyutunun büyümesi hem K_I hem de K_{II} değerlerinde bir azalmaya sebep olmuştur.

Bu tez ęalıŐmasında, farklı metot ve cihazlar ilk defa kullanılmıştır. AŞınma lęmlerinde kullanılan lazer lęm sistemi ile klasik lęm metotlarından (kumpas, mikrometre gibi) daha hassas lęm yapılmıştır. Elmas soket sıcaklığı da geliştirilen yeni bir sistem ile ilk defa anlık olarak bu ęalıŐma kapsamında lęlmŐtr. Literatürde elmas sıcaklığı ile ilgili ęok az sayıda ęalıŐma bulunmaktadır. Ayrıca, bu sistemin patentini almak için uluslar arası patent ofisine baŐvuruda bulunulmuŐtur. Yine bu ęalıŐmada, ilk defa suya alternatif olabilecek soğutma sıvıları önerilmiştir. Bu sıvıların doğal taş endüstrisinde kullanılmasıyla yüksek kesme performansı ve önemli enerji tasarrufu sağlanacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 1996, "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", Birsen Yayınevi, 3. baskı, İstanbul, Türkiye.
- Al-Ameen, S. I., Waller, M. D., 1992, "Dynamic impact abrasion index for rocks", Int. J. Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 29 (6), pp. 555-560.
- Anderson, D., Warkentin, A., Bauer, R., 2008, "Comparison of numerically and analytically predicted contact temperatures in shallow and deep dry grinding with infrared measurements", Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 48, pp. 320-328.
- Asche, J., 1999, "Deep grinding-a new dimension in cutting granite", Industrial Diamond Review, Vol. 2, pp. 110-122.
- Asche, J., 2000, "Tiefschleifen von Granit", Dr. Dissertation, Dem Fachbereich für Maschinenbau der Universität Hannover, Hannover.
- Aslantaş, K., 2003, "Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirden İmal Edilen Düz Dişlilerde Yüzey Yorulma Hasarlarının Analizi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aslantaş, K., Taşgetiren, S., 2004, Modelling of spall formation in a plate made of austempered ductile iron having a subsurface-edge crack, Computation Materials Science, Vol. 29, 29-36.
- Asperti, G., Schotte, D., 1987, "Sawing reinforced concrete with diamond wire", Industrial Diamond Review, Vol. 2, pp. 70-72.
- Atıcı, Ü., 1999, "Mermer Kesme Makinalarındaki Kesicilerin Aşınma Mekanizmaları", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bachmann, P. K., Lade, H., Leers, D., Wiechert, D. U., Theunissen, G. S. A., 1994, "Wear testing of CVD diamond films", Diamond and Related Materials, Vol. 3, pp. 799-804.
- Beckman, T.R., Hulick, R.M., 1991, "Diamond wire sawing speeds dam project" Industrial Diamond Review, Vol. 6, pp. 272-274.
- Biasco, G., 1993, "Diamond wire for quarrying hard rocks", Industrial Diamond Related, Vol. 5, pp. 252-255.

- Brook, B., 2002, "Principles of diamond tool technology for sawing rock", Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 39, pp. 41-58.
- Bui, H. D., 2006, "Fracture Mechanics", Published by Springer, Netherlands.
- Büyüksağış, İ. S., Gürcan, S., 2005, "ASTM ve TSE doğal taş standartlarının karşılaştırılması", Madencilik, Cilt 44 (1), sayfa 33-41.
- Büyüksağış, İ.S., 2007, "Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade", Journal of Materials Processing Tech., Vol. 183, pp. 399-406.
- Büyüksağış, İ.S., Göktaş, R.M., 2001, "Bilgisayar Kontrollü Mermer Kesme Deney Düzenine Tanıtılması", III. Mermer Sempozyumu (MERSEM'2001), 3-5 Mayıs, 277-287, Afyon.
- Büyüksağış, İ.S., 1998, "Dairesel Testereli Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri", Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Büyüksağış, İ.S., Atıcı, Ü., Adem, E., 2003, "Travertenlerde Tabaka Yönünün Kesme Verimi Üzerine Etkileri", IV. Mermer Sempozyumu, 18-19 Aralık, 189-199, Afyon.
- Büyüksağış, İ.S., Göktaş, R.M., 2005, "Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter", Journal of Materials Processing Tech., Vol. 169, pp. 258-262.
- Büyüksağış, İ.S., Göktaş, R.M., 2007, "The effect of schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock", Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 44 (2), pp. 299-307.
- Cassapi, V. B., 1987, "Application of Rock Hardness and Abrasive Indexing to Rock Excavating Equipment Selection", Ph. D. Thesis, University of Nottingham, UK.
- Clausen, R., Stangenberg, J., 1998, "Frame sawing-tool assessment on a model machine", Industrial Diamond Review, Vol. 1, pp. 19-25.
- Cook, M., Butler-Smith, P., 1993, "A study of diamond wire bead rotation", Industrial Diamond Review, Vol. 2, pp. 79-81.
- Dai, Q. L., Xu, X. P., 2004, "Study of the sawing performance of diamond segments with different additives in circular sawing", Key Engineering Materials, Vol. 259-260, pp. 106-111.

- Dai, Q. X., Fu, Y.H., Yuan, Z. Z., Cao, F., 2004, "Application and optimum design of diamond saw blade with composite matrix", *Key Engineering Materials*, Vols. 259-260, pp. 154-158.
- Denkena, B., Tönshoff H.K., Friemuth, T., Glatzel, T., 2003, "Development of advanced tools for economic and ecological grinding of granite", *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp. 21-32.
- Denkena, B., Tönshoff H.K., Friemuth, T., Glerse, A., 2004, "The band saw as a tool in the natural stone industry", *Industrial Diamond Review*, Vol. 1, pp.57-62.
- Di Ilio, A., Tonga, A., 2003, "A theoretical wear model for diamond tools in stone cutting", *Int. J. of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, pp. 1171-1177.
- Diñç, B., 1995, "Mermer Makinalarında Elmas Soketlerin ve Silim Cila Abrasivlerinin Mermer Türlerine Göre Aşınmalarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ersoy, A., Atıcı, U., 2004, "Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks", *Diamond and Related Materials*, Vol. 13, pp. 22-37.
- Ersoy, A., Atıcı, U., 2005, "Specific energy prediction for circular diamond saw in cutting different types of rocks using multivariable linear regression analysis", *Journal of Mining Science*, Vol. 41 (3), pp. 240-260.
- Eyüboğlu, A. S., 2000, "Diskli Kesici Soketlerindeki Aşınmaların Ankara Andezitlerinde İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eyüboğlu, A.S., Özçelik, Y., Kulaksız, S., Engin, I.C., 2003, "Statistical and microscopic investigation of disc segment wear related to sawing ankara andesites", *Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. 40, pp. 405-414.
- Fener, M., Kahraman, S., Özder, M. O., 2006, "Performance prediction of circular diamond saws from mechanical rock properties in cutting carbonate rocks", *Rock Mech. Rock Engineering*, Doi: 10.1007/s00603-006-011.
- Filgueira, M., Pinatti, D.G., 2003, "In situ wires part II. the bronze 4 wt.% diamond composite cutting rope", *Journal of Materials Processing Tech.*, Vol. 132, pp. 132-137.

- Gertsch, R., Gertsch, L., Rostami, J., 2007, "Disc cutting tests in Colorado red granite: Implications for TBM performance prediction", *Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. 44, pp. 238-246.
- Gürçay, E.A., 2005, "Elmas Soketlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretiminde Kobalt-Bronz Oranının Soket Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Han, Q. L., Li, Y., Xu, X. P., 2007, "A comparative study of stone sawing with thin and normal blades", *Key Engineering Materials*, Vol. 329, pp. 687-692.
- Hu, S., Hu, Y., Wang, C., Chen, C., 2008, "Vibration characteristic analysis of diamond saw blade with multitude holes structure for vibration and noise reduction", *Key Engineering Materials*, Vols. 359-360, pp. 78-84.
- Hu, S., Wang, C., Chen, B., Hu, Y., 2006, "Dry-cutting concrete study of diamond saw blade with different segment width", *Materials Science Forum*, Vol. 532-533, pp. 321-324.
- Hu, Y. N., Wang, C. Y., Wei, X., Li, Z. G., 2003, "Thermodynamic analysis of diamond saw blades for dry cutting", *Key Engineering Materials*, Vols. 250, pp. 233-238.
- Hu, Y.N., Wang, C.Y., Ding, H.N., 2004, "The Mechanical performance of diamond saw blades with special structure", *Key Engineering Materials*, Vol. 259-260, pp. 141-145.
- Huang, H. Xu, X. P., 2003, "Material removal mechanisms in diamond grinding of granite, Part 2: Formation of gloss on granite surface", *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp. 222-227.
- Huang, H., Zhang, G.Q., Zhan, Y.J., Xu, X.P., 2006, "Forces in surface grinding of granites with a brazed diamond wheel", *Key Engineering Materials*, Vols. 315-316, pp. 185-189.
- Jennings, M., Wright, D., 1989, "Guidelines for sawing stone", *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 70-75.
- Kahraman, S., Fener, M., Günaydın, O., 2004, "Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis", *Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. 41, pp. 1123-1131.

- Kahraman, S., Fener, M., Günaydın, O., 2006, "Authors' reply to the discussion by A. Karakus on the paper "Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis" Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 43, pp. 1308-1310.
- Karagöz, Ş., Zeren, M., 2001, "The microstructural design of diamond cutting tools", Materials Characterization, Vol. 47 (2), pp. 89-91.
- Karagöz, Ş., Zeren, M., 2001, "The Property optimization of diamond-cutting tools with the help of microstructural characterization", Int. J. Refractory Metals & Hard Materials, Vol. 19 (1), pp. 23-26.
- Karagöz, Ş., Zeren, M., 2002, "Doğal Taş Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Takımların Aşınma Karakteristiği", Uluslar arası Toz Metalurjisi Konferansı, 4-8 Eylül, Ankara.
- Kremshofer, S., 2006, "Diamond characteristic and performance in wall sawing", Industrial Diamond Review, Vol. 2, pp. 64-66.
- Konstanty, J., 1991, "The Materials science of stone sawing", Industrial Diamond Review, Vol. 1, pp. 27-31.
- Konstanty, J., 2003, "Factors affecting diamond retention in stone sawblade segments", Key Engineering Materials, Vol. 250, pp. 13-20.
- Konstanty, J., 2003, "Production of diamond sawblades for stone sawing applications", Key Engineering Materials, Vol. 250, pp. 1-12.
- Li, S., Xu, J., Xiao, B., Yan, M., Fu, Y., Xu, H., 2006, "Performance of brazed diamond wheel in grinding cemented carbide", Materials Science Forum, Vol. 532-533, pp. 381-384.
- Li, Y. D., Li, G. S., Jiang H., Li, B. J., 2003, "Study on a new type of matrix material for electroplated diamond tools", Key Engineering Materials, Vol. 250, pp. 89-93.
- Li, Y., Xu, X. P., 2006, "Modal analysis of circular diamond saw-blade for deep sawing of granite", Key Engineering Materials, Vols. 315-316, pp. 348-351.
- Li, Y., Yu, Y. Q., Xu, X. P., 2001, "Measurement and analysis of cutting forces in circular sawing of granite", Key Engineering Materials, Vol. 202-203, pp. 293-298.
- Liao, Y.S., Luo, S.Y., 1992, "Wear characteristics of sintered diamond composite during circular sawing", Wear, Vol. 157, pp. 325-337.

- Liu, B. C., Zhang, Z. P., Sun, Y. H., 2003, "Development of impact strength tester for diamond grit", *Key Engineering Materials* Vol. 250, pp. 287-29.
- Liu, B. C., Zhang, Z. P., Sun, Y. H., 2004, "Sawing trajectory and mechanism of diamond wire", *Key Engineering Materials*, Vol. 259-260 pp. 395-400.
- Luo, S.Y., 1997, "Investigation of the worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite", *Journal of Material Processing Tech*, Vol. 70, pp. 1-8.
- Luo, S.Y., Liao, Y.S., 1993, "Effects of diamond grain characteristics on sawblade wear", *Int. J. of Machine Tools & Manufacture.*, Vol. 3 (2), pp. 257-266.
- Luo, S.Y., Liao, Y.S., 1995, "Study of the behaviour of diamond saw-blades in stone processing", *Journal of Material Processing Tech.*, Vol. 51, pp. 296-308.
- May., P.W., Rego, C.A., 1994, Thomas, R.M., Ashfold, M.N.R., Rosser, K.N., Everitt, N.M., "CVD diamond wires and tubes", *Diamond and Related Materials*, Vol. 3, pp. 810-813.
- Nishimatsu, Y., 1972, "The mechanics of rock cutting", *Int. J. Rock Mechanic & Mining Science*, Vol. 9, pp.261-270.
- Özbek, O., 2008, "Çankırı Kahverengi Mermerlerin Kesilebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Özçelik, Y., 1999, "Mermercilikte Elmas Tel Kesme Makinalarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi", *Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Özçelik, Y., Bayram, F., 2004, "Optical investigations of bead wear in diamond wire cutting", *Industrial Diamond Review*, Vol. 3, pp. 60-65.
- Polini, W., Turchetta, S., 2003, "To characterise diamond mill wear", *Wear*, 255, pp. 1414-1420.
- Pook, L., 2007, "Metal Fatigue", Published by Springer, London, UK.
- Rosa, L.G., P.M. Amaral, Anjinho C.A., Fernandes, J.C., 2004, "Evaluation of diamond tool behaviour for cutting stone materials, *Industrial Diamond Review*, Vol. 1, pp 45-50.
- Sanio, H.P., 1985, "Prediction of the performance of disc cutters in anisotropic rock", *Int. J. of Rock Mechanics Mining Sciences & Geomech Abstr.*, Vol. 22 (3), pp. 153-161.

- Saxena, A., 1998, "Nonlinear Fracture Mechanics for Engineers", CRC Press, Washington, D.C.
- Shaw, M. C., 2005, "Metal Cutting Principles", Oxford University Press, Canada.
- Shen, J.Y., Lin, W., Ohmori, H., Xu, X. P., 2006, "Mechanism of surface formation for natural granite grinding", Key Engineering Materials, Vols. 304-305, pp. 161-165.
- Skury, A.L.D., Bobrovnitchii, G.S., Monterio, S.N., Gomes, C.C., 2004, "Recovery of synthetic diamonds from scrapped sawblades", Separation and Purification Technology, Vol. 35, pp. 185-190.
- Sun, L., Pan, J., Lin, C., 2002, "A new approach to improve the performance of diamond sawblades", Materials Letters, Vol. 57, pp. 1010-1014.
- Sung, C.M., 1999, "Brazed diamond grit: A revolutionary design for diamond saws", Diamond and Related Materials, Vol. 8, pp. 1540-1543.
- Sung, J. C., 2007, "Diamond tools with diamond grits set in a predetermined pattern", Materials Science Forum, Vols. 534-536, pp. 1101-1104.
- Sung, J. C., Hu, S. C., Chang, Y.S., 2007, "The metallization of diamond grits", Materials Science Forum, Vols. 534-536, pp. 1137-1140.
- Sung, J. C., Hu, S.C., Lin, I. C., Tsai, C. C., 2007, "The revolution of diamond synthesis technology", Materials Science Forum, Vols. 534-536, pp. 1141-1144.
- Tan, C. L., Gao, Y. L., 1990, Treatment of bimaterial interface crack problems using the boundary element method, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 36 (6), 919-932.
- Taşgetiren, S., Uçun, İ., 2004, "Mermer kesme diskinin sonlu elemanlar metodu ile doğal frekansların belirlenmesi", Teknolojik Araştırmalar:MTED, C 1 (4), sayfa 9-17.
- Tawakoli, T., 1990, "Requirements for high-efficiency deep grinding", Industrial Diamond Review, 4, pp. 177-182.
- Tian, X., Tian, S., 1994, "The wear mechanisms of impregnated diamond bits", Wear, 177, pp. 81-91.
- Topçu, M., Taşgetiren, S., 1998, "Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu", Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli.
- Tönshoff, H. K., Denkena, B., Hillmann-Apmann, H., 2003, "Diamond tools for wire sawing metal components", Key Engineering Materials, Vol. 250, pp. 33-40.

- Tönshoff, H. K., Hillmann-Apmann, H., 2002, "Diamond tools for wire sawing metal components", *Diamond and Related Materials*, Vol. 11, pp. 742-748.
- Tönshoff, H. K., Hillmann-Apmann, H., Asche, J., 2002, "Diamond tools in stone and civil engineering industry: Cutting principles, wear and applications", *Diamond and Related Materials*, Vol. 11, pp. 736-741.
- Tönshoff, H. K., Jendryschik, J., 1985, "Dynamical behavior of disklike rotating tools", *Computers & Structures*, Vol. 21 (1/2), pp. 203-211.
- Tönshoff, H. K., Wobker, H.G., Przywara, R., 1993, "Das arbeitsverhalten von werkzeugen zum Trennschleifen von gestein", *Industrial Diamond Review*, Vol. 3, pp. 198-205.
- Tönshoff, H.K., Friemuth, T., Hillmann-Apmann, H., 2001, "Diamond wire sawing of steel components", *Industrial Diamond Review*, Vol. 3, pp. 203-208.
- Tönshoff, H. K., Denkena, B., Asche, J., Apmann, H. H., 2003, "Development of a system for the deep sawing of granite", *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp. 239-246.
- Uğuz, A., 1996, "Kırılma Mekaniğine Giriş", Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa.
- Ucun, I., 2004, "Mermer Kesme Disklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme ve Titreşim Analizleri", Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Ucun, I., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Büyüksağış, İ.S., 2008, "Fracture path prediction of diamond segment in a marble cutting disc", *Fatigue and Fracture of Engineering Materials*, Vol. 31, pp. 517-525.
- Ucun, İ., Taşgetiren, S., 2005, "Mermer kesme disklerinin sonlu elemanlar metodu ile zorlanmış titreşim analizi", *Teknolojik Araştırmalar:MTED*, C 2 (1), sayfa 25-31.
- Unal, R., 2007, "Effect of cobalt to bronze ratio on transverse rupture strength of diamond segments", *Materials Science Forum*, Vols. 534-536, pp. 1105-1108.
- Unal, R., Gurcay, E. A., 2007, "Matrix composition effect on the wear behaviour of diamond segments", *Materials Science Forum* Vols. 534-536, pp. 1113-1116.
- Upadhyaya, G. S., 1998, "Cemented tungsten carbides: production, properties and testing", Noyes Publications, New Jersey, U.S.A.
- Wang, C. Y., Hu, Y. N., Ding, H. N., 2004, "Cutting forces in sawing process of reinforced concrete", *Materials Science Forum*, Vols. 471-472, pp. 292-297.

- Wang, C., Qin, Z., Wei, X., Wu, Y., 2003, "A study on the process of granite belt grinding", *Key Engineering Materials*, Vols. 238-239, pp. 111-116.
- Wang, C.Y., Clausen, R., 2002, "Marble cutting with single point cutting tool and diamond segments", *Int. J. of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, pp. 1045-1054.
- Wang, C.Y., Clausen, R., 2003, "Computer simulation of stone frame sawing process using diamond blades", *Int. J. of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, pp. 559-572.
- Wang, C.Y., Hu Y.N., Wang, Z.W., Ding, H.N. 2005, "Noise and vibration of diamond sawblade for concrete dry cutting", *Key Engineering Materials* Vols. 291-292, pp. 103-108.
- Wang, Y.H., Zang, J.B., Wang, M.Z., Guan, Y., Zheng, Y.Z., 2002, "Properties and applications of Ti-coated diamond grits", *Journal of Materials Processing Tech.*, 129, pp. 369-372.
- Wei, C., Du, H. W., Wang, C. Y., Frag, Y. L., 2003, "Investigation on cutting forces in concrete sawing process", *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp. 181-186.
- Wright, D. N., Cassapi, V.B., 1985, "Factors influencing stone sawability", *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 84-87.
- Xu, X. P. Huang, H. Li, Y., 2003, "Material removal mechanisms in diamond grinding of granite, Part 1: The morphological changes of granite from sawing to grinding", *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp. 215-221.
- Xu, X. P., Huang, H., 2003, "Thermal study on rock grinding, Part 1: Temperature measurement", *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp. 147-154.
- Xu, X. P., Huang, H., 2003, "Thermal study on rock grinding, Part 3: The effects of temperatures", *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp. 163-170.
- Xu, X. P., Huang, H., Zeng, W. M., 2003, "Thermal study of rock grinding, Part 2: Temperature analysis", *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp. 155-162.
- Xu, X. P., Huang, H., 2004, "High-efficiency cutting of granite blocks with multi-blade diamond saws", *Key Engineering Materials*, Vols. 257-258, pp. 297-302.
- Xu, X. P., Hong, Y. B., Chen, S., 2004, "Performance of diamond segments in different machining processes", *Materials Science Forum*, Vols. 471-472, pp. 77-81.

- Xu, X. P., Li, Y., 2003, "The effects of swarf in the diamond sawing of granite", *Key Engineering Materials* Vol. 250, pp. 187-193.
- Xu, X. P., Shen, J. Y., 2001, "Study on surface grinding of granites with resin bonded diamond wheel", *Key Engineering Materials*, Vols. 202-203, pp. 67-72.
- Xu, X., Yu, Y., 2005, "Sawing performance of diamond with alloy coatings", *Surface and Coatings Tech.*, Vol. 198 (1-3), pp. 459-463.
- Xu, X., 1999, "Friction studies on the process in circular sawing of granites", *Tribology Letters*, Vol. 7, pp. 221-227.
- Xu, X., 2001, "Study on the thermal wear of diamond segmented tools in circular sawing of granites", *Tribology Letters*, Vol. 10 (4), pp. 245-250.
- Xu, X., Du, C., 2008, "Comparison of power in CBN grinding of steels and stone", *Key Engineering Materials*, Vols. 359-360, pp. 118-122.
- Xu, X., Li, Y., Yu, Y., 2003, "Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade", *Journal of Materials Processing Tech.*, Vol. 139, pp. 281-285.
- Yu, Y. Q., Xu, X. P., 2003, "Improvement on the performance of diamond segments for rock sawing, Part 1: Effects of segment components", *Key Engineering Materials* Vol. 250, pp. 46-53.
- Yu, Y. Q., Zhang, Y. F., Li, Y., Xu, X. P., 2006, "Sawing of granite with side-slotted diamond segments", *Key Engineering Materials*, Vols. 315-316, pp. 103-107.
- Yu, Y., Li, Y., Xu, X., 2008, "Specific energies in sawing with diamond segments and grinding of a diamond segment", *Key Engineering Materials*, Vols. 375-376, pp. 375-379.
- Yu, Y., Tie, X., Xu, X., 2008, "Mechanical behaviors of metal-bonded diamond abrasive tools with different grit sizes", *Key Engineering Materials*, Vols. 359-360, pp. 73-77.
- Yu, Y.Q., Li, Y., Xu, X.P., 2004, "An experimental study of specific energy in grinding granite", *Materials Science Forum*, Vols. 471-472, pp. 625-629.
- Zeren, M., 1999, "Elmas Kesici Takımlarda Mikroyapısal Karakterizasyon Üzerinden Özelliklerin Optimizasyonu", *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit.

- Zeren, M., Karagöz, Ş., 2007, “Sintering of polycrystalline diamond cutting tools”, *Materials and Design*, Vol. 28 (3), pp. 1055-1058.
- Zeren, M., Karagöz, Ş., 2006, “Defect characterization in the diamond cutting tools, *Materials Characterization*, Vol. 57, pp. 111-114.
- Zhan, Y.J., Li, Y., Huang, H., Xu, X.P., 2007, “Effects of the wear characteristics of brazed diamond grits on grinding forces”, *Advanced Materials Research*, Vols. 24-25, pp. 233-238.
- Zhang, G., Huang, H., Xu, X., 2008, “Study on the wear mechanism of brazed diamond grains”, *Key Engineering Materials*, Vols. 359-360, pp. 58-62.
- Zhu, Y. W., Zhang, X. M., Xie, G. Z., Zhou, Z. P., 2001, “On the diamonds in contact zone of saw blade”, *Key Engineering Materials*, Vols. 202-203, pp. 349-354.

7.1. İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- 1- Franc2dL, “Finite element code user’s manual”, www.cfg.cornell.edu. 15.08.2008

Tez çalışmasında yapılan yayınlar

- Ucun, I., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Büyüksağış, İ.S., 2008, “Fracture path prediction of diamond segment in a marble cutting disc”, *Fatigue and Fracture of Engineering Materials*, Vol. 31, pp. 517-525.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ.S., 2008, “Kayaç kesme işleminde kullanılan elmas soketli kesici Diskin kesme performansının incelenmesi”, *Teknolojik Araştırmalar:MTED*, C 3, sayfa 33-40.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İsmail UCUN
Doğum Yeri : Afyonkarahisar
Doğum Tarihi : 19.04.1978
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Merkez Endüstri Meslek Lisesi
Lisans: Dumlupınar Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü
Yüksek Lisans: A. Kocatepe Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Süleyman Demirel Üniversitesi, CAD-CAM Araştırma Merkezi (2002)
A. Kocatepe Üniversitesi (2002- devam)

Yayınlar (SCI ve diğer):

Uluslar arası Makaleler (SCI, EI)

Ucun İ., Colakoğlu M., Taşgetiren S., Crack Initiation and Growth in Circular Saw, J. of Theoretical and Applied Mechanics, 46 (2), 291-303, 2008.
Bayrakçeken, S. Ucun, İ., Taşgetiren, S., Fracture analysis of a camshaft made from nodular cast iron , Engineering Failure Analysis, 13 (8), 1240-1245, 2006.
Ucun, İ., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Büyüksağış İ. S., Fracture path prediction of diamond segment in a marble cutting disc, Fatigue and Fracture of Engineering Materials, 31, 517-525, 2008.
Aslantaş K. Ucun İ., Gök İ., Evaluation of the Performance of CBN Tools When Turning Austempered Ductile Iron Material, J. of Manufacturing Science and Engineering-ASME, 130 (5), 54503-54507, 2008.

- Aslantaş, K., Uçun, İ., Uçun, İ., Finite Element Modelling of Machining of AISI 1045 with Ceramic Cutting Tool, Material and Product Tech., (In press), 2009.
- Uçun, İ., Çolakoğlu, M., Taşgetiren S., Stress Analysis of Marble Sawing Disc in Cutting Process, Journal of Applied Sciences, 8 (5), 876-880, 2008.
- Yalçın, B., Uçun, İ., Koru, M., Fuzzy Logic Modelling of the Cutting Force of Circular Diamond Saw in Marble Cutting, Journal of the F. of Eng. and Arc. of G.Uni. ., Vol: 22, No: 2, , 329-336, 2007.
- Uçun, İ., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Gök K., Investigation of Tool Performance in Turning of Austempered Ductile Iron with Cemented Carbide Cutting Tool, J. Fac. Eng. Arch. G.Univ., Vol 22, No 4 , 739-744, 2007.

Ulusal Hakemli Makaleler

- Uçun, İ., Çolakoğlu, M., Değişik Şekilli Boru Malzemelerdeki Doğal Titreşim Frekanslarının Ölçülmesi ve Hesaplanması, Teknoloji Dergisi, c 7, s 3, sayfa 435-445, 2004.
- Uçun, İ., Talaş, Ş., Taşgetiren, S., Farklı Kalınlıktaki Parçaların Alın Kaynağında Geçiş Bölgesinin Gerilme Yığılmalarına Etkisi, Teknolojik Araştırmalar:MTED, 2 (2), 51-61, 2005.
- Aslantaş, K., Uçun, İ., Taşgetiren, S., Cıvata-somun bağlantı sistemlerinde temas gerilmelerinin üç boyutlu analizi, Teknolojik Araştırmalar:MTED, C 1, s2, sayfa 50-55, 2004.
- Uçun, İ., Taşgetiren, S., Mermer kesme disklerinin sonlu elemanlar metodu ile zorlanmış titreşim analizi, Teknolojik Araştırmalar:MTED, C 2, s1, sayfa 25-31, 2005.
- Taşgetiren, S., Aslantaş, K., Uçun, İ., "Düz dişlilerde sıkı geçme basıncının dişdibi yorulma hasarları üzerindeki etkisi", Teknolojik Araştırmalar:MTED, 1(2), 21-29, 2004
- Taşgetiren S., Uçun, İ., Mermer kesme diskinin sonlu elemanlar metodu ile doğal frekansların belirlenmesi, Teknolojik Araştırmalar:MTED, C 1, s4, sayfa 9-17, 2004.
- Uçun, İ., Çolakoğlu, M., Taşgetiren, S., Vibration analysis of palette rotor manufactured from different materials, Technolo. Res.: EJMT, 4, 33-39, 2007.

Ucun, İ., Çolakoğlu, M., Taşgetiren, S., Investigation of temperature dependent vibration properties of polyvinyl chloride (pvc) materials, Technolo. Res.: EJMT, 4 (2), 34-41, 2007.

Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ.S., Kayaç Kesme İşleminde Kullanılan Elmas Soketli Kesici Diskin Kesme Performansının İncelenmesi, Teknolojik Araştırmalar:MTED, 5(3), 33-40, 2008.

Uluslararası Bildiriler

Ucun, İ., Çolakoğlu, M., Taşgetiren, S., Metal Endüstrisinde Kullanılan Dairesel Testerelerin Doğal Frekanslarının Belirlenmesi, 4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Konya, 28-30 Eylül 2005, Konya.

Ucun, İ., Çolakoğlu, M., Kaynaklı Birleştirmelerde Yorulmanın Sönümlenme Katsayısı ve Doğal Frekansa Etkisi, 7. Uluslararası Kırılma Konferansı, 19-21 Ekim 2005, İzmit.

Ucun, İ., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Büyüksağış İ.S., Üzerinde Delik Bulunan Kesici Diskin Sonlu Elemanlar Metodu ile Gerilme Analizi, 7-9 Kasım 2007, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, İstanbul.

Ucun, İ., Gayretli, A., Taşgetiren, S., Mermer Endüstrisi İçin Düşük Maliyetli ve Yüksek Performanslı Yeni Bir Kesici Elmas Soket Tasarımı, 12. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 05-08 Eylül 2006, Kuşadası, Türkiye.

Ucun, İ., Talaş, Ş., Taşgetiren, S., Failure Analysis of Diamond Segments Brazed on Cutting Disc, The 12th International conference on Machine Desig, Kuşadası, TURKEY, 05-08 October 2006, Kuşadası, Türkiye.

Ucun, İ., Aslantaş, K., Ucun, İ., Farklı Kenar Geometrisine Sahip Seramik Kesici Takımlar Kullanılarak AISI 1045 Çeliğinin İşlenebilirliğinin Modellenmesi, 13. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 03-05 Eylül 2008, İstanbul.

Ulusal Bildiriler

- Ucun, İ., Çolakoğlu, M., Çatlak İlerlemesine Bağlı Olarak Malzemedeki Enerji Absorbunun Ölçülmesi, 10. Denizli Malzeme Sempozyumu, 14-16 Nisan 2004, Denizli.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Küresel Grafitli Dökme Demirin Sementit Karpid Kesici Takımlar İle Yüzey Frezeleme İşleminde Takım Aşınması, III. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, 16-17 Eylül 2005, Konya.
- Kara, R., Ucun, İ., Taşgetiren, S., Kesici disk üzerine farklı yöntemler ile lehimlenmiş elmas soketlerin incelenmesi, UMES 2007, İzmit.
- Ucun, İ., Büyüksağış, İ. S., Aslantaş, K., Elmas Kesici Disklerle Mermer Kesme İşleminde Testere Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, IX Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 30-31 Ekim, 2008, İzmir.

Diğer yayınlar

- Kutlu, M., Ucun, İ., Çolakoğlu, M. Üç eksenli cnc freze tezgahının tasarım ve imalatı, Makine İhtisas Dergisi, 41, 58-60, 2006.
- Ucun, İ., Tin, S., Taşgetiren, S., Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarında Uç Eğiminin Etkisi, Makine İhtisas, 44, 58-62, 2007.
- Karakaya, Ş., Ucun, İ., Metal Plakalardaki Kesme İşleminin Sonlu Elemanlar Metodu İle Modellenmesi, Makine İhtisas, 59, 42-45, 2008.

Projeler:

- Doğaltaş Sanayiinde Kullanılan Kesici Disk ve Elmas Soketlerin Kesme Performansı ve Hasar Analizi Çerçevesinde İncelenmesi 106M189 no'lu TÜBİTAK Projesi, Görevi: Görevi: Yardımcı Araştırmacı, 2009.
- Hafif Silahlara karşı Zırh Yapımında Kullanılan Polimer Matrisli Kompozitlerin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi, 106M004 no'lu TÜBİTAK Projesi, Görevi: Yardımcı Araştırmacı, 2009.

KGDD Malzemelerde Östemperleme İşleminin Kesme Parametrelerine ve Takım Ömürüne Etkisinin İncelenmesi Afyon Kocatepe Üniversitesi, BAP Projesi, Görevi: Yürütücü yardımcısı, 2007.

Mermer Kesme Diskleri Üzerindeki Elmas Soketlerin Kırılma Davranışlarının İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, BAP Projesi, Görevi: Yürütücü yardımcısı, 2007.

Inconel 718 Malzemesinin Tornalanmasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modellenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, BAP Projesi, Görevi: Yürütücü yardımcısı, (devam ediyor).

Verdiği lisans düzeyindeki dersler:

Dersin adı	Teorik	Uygulamalı	Toplam
Temel işlemler modül grubu	3	3	6
Seri üretim sistemleri tasarımı	2	0	2
İşçi sağlığı ve iş güvenliği	2	0	2
Teknik Resim (Müh. Fak.)	1	3	4