

ÇANKIRI KAHVERENGİ MERMERİNİN KESİLEBİLİRLİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur ÖZBEK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

MAKİNE EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

Haziran 2008

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇANKIRI KAHVERENGİ MERMERİNİN KESİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Onur ÖZBEK

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN
Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

MAKİNE EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

Mayıs 2008

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN ve Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ danışmanlığında,

Onur ÖZBEK tarafından hazırlanan

ÇANKIRI KAHVERENGİ MERMERİNİN KESİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri

uyarınca

09/06/2008

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

Makine Eğitimi Anabilim Dalında

tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN	
Üye	Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ	
Üye	Doç. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAGİŞ	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. MERMER KESMEDE KULLANILAN MAKİNELER	8
3.1 ST Makineleri	8
3.2 Mermer Kesme Diskleri ve Kesici Soketler	9
3.2.1 Mermer Kesme Diskleri	9
3.2.2 Kesici Soketler	11
4. KESİCİ DİSKİN KESME MEKANİZMASI VE AŞINMA	13
4.1 Kesme Mekanizması	13
4.2 Aşınma	14
5. METARYAL METOD	15
5.1 Materyal	15
5.1.1 Deneylerde Kullanılan Dairesel Testereli Blok Kesme Makinesi	15
5.1.2 Çankırı Kahverengi Mermerin Mineralojik ve Fiziksel Özellikleri	17
5.1.3 Enerji Analizörü	19
5.1.4 Kuvvet Göstergeleri	20
5.1.5 Gürültü Ölçer	21
5.1.6 Dinamometre	21

5.1.7	Aşınma Cihazı	22
5.1.8	Lazer Deplasman Ölçer	23
5.2	Metod	24
5.2.1	DeneySEL prosedür	24
5.2.2	Spesifik enerjinin hesaplanması	29
5.2.3	Diskte meydana gelen yanal deplasmanın ölçülmesi	29
6.	BULGULAR	31
6.1	Kesme parametrelerine bağlı olarak gücün değişimi	31
6.2	Kesme parametrelerine bağlı olarak gürültünün değişimi	32
6.3	Kesme parametrelerine bağlı olarak SE değişimi	34
6.4	Kesme parametrelerine bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi	35
6.5	Kesme parametrelerinin soket aşınması üzerindeki etkisi	37
6.6	Aşınan Soket Yüzeylerinin Mikroskopik Özellikleri	39
6.7	Kesme parametrelerinin testerenin yanal sapması üzerindeki etkisi	43
7.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	47
8.	KAYNAKLAR	49
9.	ÖZGEÇMİŞ	52

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇANKIRI KAHVERENGİ MERMERİNİN KESİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Onur ÖZBEK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN

Doç Dr. Kubilay ASLANTAŞ

Bu çalışmada, Çankırı kahverengi mermerinin kesilebilirlik özellikleri ve elmas dairesel testerenin kesme performansı incelenmiştir. Testerenin kesme hızı, kesme derinliği, çevresel hızı değiştirilerek kesme deneyleri yapılmıştır.

Ek olarak, testereye etkiyen kesme kuvvetlerinin testerenin yanal deplasmanına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada üç farklı çevresel hız (30-35-40)m/sn, üç farklı kesme derinliği (20-35-50)mm, üç farklı kesme hızı (0,3-0,4-0,5)m/dak kullanılmıştır. Tüm deneylerde yüksek ölçme hassasiyetindeki özel tasarlanmış mermer kesme makinesi kullanılmıştır.

Sonuç olarak; kesme hızının ve çevresel hızın artırılması ile güç tüketiminin arttığı görülmüştür. Ayrıca yanal deplasmanı en çok etkileyen kesme parametrenin kesme derinliği olduğu görülmüştür.

2008, 54 sayfa

Anahtar kelimeler: Mermer Kesme, Dairesel Elmas Kesiciler, Titreşim, Aşınma,
Spesifik Enerji, Gürültü, Çankırı Kahverengi Mermeri

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

Investigation of cuttability properties of Cankırı Brown Marble

Onur ÖZBEK

Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Education

Supervisor: Asist Prof. Ahmet ÇETKİN

Assoc. Prof. Kubilay ASLANTAŞ

In this study the cutting performance of circular diamond saw blade was investigated in the processing of a natural stone (Çankırı Red). A series of cutting tests were carried out by considering depth of cut, cutting speed, peripheral speed of the slaw blade.

Additionally, the effect of the cutting parameters an lateral displacement of the slaw blade was examined. In the study, three different cutting speeds (0.3, 0.4, 0.6) peripheral speeds (30, 40, 50) and depth of cuts (20, 40, 60) were used. All tests were conducted a fully instrumented high precision block-cutter specially designed for marble cutting researches.

Results obtained from the study show that an increase in cut speed and peripheral speed results in increase the power consumption. Besides of lateral displacement showed esspecially most effect cutting parameter cutting depth

2008, 52 pages

Keywords: Marble Cutting, Circular Diamond Sawblade, Vibration, Wear, Specific Energy, Noise, Çankırı Brown Marble.

TEŞEKKÜR

Çalıőmamı yaparken verdiği bilgilerle çalıőmamın tamamlanmasında büyük emeği olan değerli hocam Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ'a, danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇETKİN hocama, yine projede görevli olan Yrd. Doç. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAGIŐ ve Öğr. Grv. İsmail UCUN hocalarıma, ayrıca yüksek lisansı tamamlamamda büyük emeği olan Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN'e ve tahsil hayatımı devam ettirmem için bana daima destek olan anne ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Onur ÖZBEK

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

F_x	Disk kesme yönünde oluşan yatay kuvvet
F_y	Disk kesme yönünde oluşan dikey kuvvet
F_z	Disk kesme yönüne dik oluşan aksenal kuvvet
F_N	Normal (Radyal) kuvvet
F_T	Teğetsel kuvvet
F_K	Kesme kuvveti
H_K	Kesme derinliği
Q_w	Birim zamanda kesilen hacim
V_k	İlerleme hızı
$V_ç$	Testerinin çevresel hızı
w	Doğal frekans
Se	Spesifik enerji

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No	
Şekil 3.1	Mermer kesme diskinin kinematik davranışları	10
Şekil 4.1	Diskine kesme esnasında maruz kaldığı kuvvet bileşenleri.	13
Şekil 5.1	Deneysel çalışmada kullanılan ST mermer kesme makinesinin görünüşü	24
Şekil 5.2	Testeredeki yanal sapmayı ölçmek için kullanılan düzeneğin şematik ifadesi	30
Şekil 6.1	Kesme hızına, kesme derinliğine ve çevresel hıza bağlı olarak gücün değişimi	32
Şekil 6.2	Kesme hızının ve kesme derinliğinin gürültü üzerindeki etkisi	33
Şekil 6.3	Kesme hızı ve çevresel hızın gürültü üzerindeki etkisi	33
Şekil 6.4	Kesme hızının ve çevresel hızın SE üzerindeki etkisi	34
Şekil 6.5	Kesme hızının ve kesme derinliğinin SE üzerindeki etkisi	34
Şekil 6.6	Çevresel hızın ve kesme derinliğinin değişiminin SE'ye etkisi)	35
Şekil 6.7	Kesme hızı ve çevresel hızın Ft üzerindeki etkisi	35
Şekil 6.8	Kesme hızı ve çevresel hızın Fn üzerindeki etkisi	36
Şekil 6.9	Kesme hızı ve çevresel hızın Ft/Fn üzerindeki etkisi	36
Şekil 6.10	Kesme hızı ve kesme derinliğinin aşınma üzerindeki etkileri	38
Şekil 6.11	Kesme işleminde mermer ile testerenin temas uzunluğu	38
Şekil 6.12	Çevresel hızın ve kesme hızının soket aşınması üzerindeki etkileri	39
Şekil 6.13	Deney öncesi ve sonrası disk çevresindeki soketlerde meydana gelen aşınma	42
Şekil 6.14	$V_{\text{ç}} = 30$ m/sn kesme hızı = 0,4 m/dak ve Hk= 50 mm için Şekil 3'te verilen grafiğin daha dar bir çevrede gösterimi	42
Şekil 6.15	Qw değişiminin Fz ve Testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi (Hk=20mm $V_{\text{ç}}=30$ m/sn)	43
Şekil 6.16	Testeredeki yanal sapmanın tespiti	44
Şekil 6.17	Qw değişiminin Fz ve testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi (Hk=35mm $V_{\text{ç}}=30$ m/sn)	44

Şekil 6.18	Qw değişiminin Fz ve testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi (Hk=50mm Vç=30m/sn)	45
Şekil 6.19	Qw değişiminin Fz ve testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi (Hk=20mm Vç=35m/sn)	45
Şekil 6.20	Qw değişiminin Fz ve testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi (Hk=20mm Vç=40m/sn)	46

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa No	
Resim 3.1	İki kolonlu S/T mermer kesme makinesi	8
Resim 3.2	İki kolonlu S/T mermer kesme makinesi	9
Resim 3.3	Kesici disk malzemesinin mikro yapısı	12
Resim 5.1	Mermer kesme makinesi	15
Resim 5.2	Ana menü ekran görüntüsü	16
Resim 5.3	Çankırı Kahverengi mermeri	17
Resim 5.4	Mikro kristalin kalsit mineralleri	18
Resim 5.5	Sekonder kalsit minerallerinde ikizlenmeler	18
Resim 5.6	Çatlaklar boyunca kayaca yerleşen hematit ve mangan mineralleri	18
Resim 5.7	Enerji analizörü görünüşü	20
Resim 5.8	Kuvvet göstergesi görünüşü	20
Resim 5.9	Kesme deneylerinde kullanılan gürültü ölçer	21
Resim 5.10	Kesme kuvvetlerini ölçme işleminde kullanılan dinamometrenin görünüşü	22
Resim 5.11	Soketlerde meydana gelen aşınmanın ölçümü için tasarlanmış düzenek	22
Resim 5.12	Keyence marka Lazer deplasman ölçüm ünitesi	23
Resim 5.13	Lazer deplasman ölçüm ünitesine ait görünüş	23
Resim 5.14	Ara yüz yazılımı ana pencere görüntüsü	26
Resim 5.15	Manuel kontrol penceresi görünümü	26
Resim 5.16	Veri izleme ve kayıt penceresi	28
Resim 5.17	Lazer deplasman ölçüm ünitesinden alınan detay örneği	30
Resim 6.1	Soket yüzeyinde meydana gelen abrasiv aşınmaya bir örnek	39
Resim 6.2	Hasara uğramış elmas tanecik yüzeği	40
Resim 6.3	Yüzeyi kırılmış elmas tanecikleri	41
Resim 6.4	Aşınmış elmas tanecikleri	41
Resim 6.5	Elmas tanecik dökülmesi	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 5.1 Çankırı kahverengi mermere ait kimyasal analiz sonuçları	19
Tablo 5.2 Çankırı kahverengi mermerin fiziko-mekanik özellikleri	19

1. GİRİŞ

Mermer sektöründe Türkiye tüm dünya ülkeleri arasında ikinci sırada yer almaktadır. Üretilen malın miktarının fazlalığı harcanılan enerjinin de fazla olmasına neden olmaktadır. Mermer kesme işlemi esnasında yanlış kesme derinliği devir ya da kesme hızının seçilmesi ile oluşan kuvvetler soketlerin aşınmasına hatta kırılmasına neden olabilmektedir. Makine ve testerede oluşan titreşimde fazla enerji harcanmasına soketlerin aşınmasına ortamda istenmeyen aşırı gürültüye neden olabilir. Mermer endüstrisinde önemli bir yere sahip olan kesici disklerle alakalı pek çok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar genellikle diskin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik olmuştur.

Mermer kesme diskleri kesme esnasında farklı kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler neticesinde diskte salınımlar ve aşınma oluşmaktadır. Testere üzerinde oluşan bu kuvvetlerin başlıca oluşum sebeplerinden biri de kesilen taşların homojen olmamalarıdır. Mermerin homojen olmaması değişik sertliklerde olmasına, dolayısıyla kesme esnasında kuvvetlerin ani değişimlerine neden olmaktadır. Bu ani değişimler mermer kesme diskini farklı yönlerden zorladığı için titreşime neden olmaktadır.

Mermer kesme diskleri kuvvet ve dönme etkisinden kaynaklanan çeşitli dinamik kuvvetlere maruz kalabilmektedir. Mermer kesme diskleri serbest titreşim davranışları gösterdiği gibi kesme etkisine bağlı olarak zorlanmış titreşime de maruz kalabilmektedir.

Bu tür titreşimin önüne geçebilmek için disklerin çaplarına bağlı olarak farklı boyutlarda flanşlar kullanılmaktadır. Mermer kesmede kullanılan flanşlar diskte oluşan titreşimleri kontrol altında tutarak diskin büyük genlikli salınımlarla dönmesini önler.

Bu çalışmada, mermer kesme işleminde kesme parametrelerinin kesme hızı, kesme derinliği ve çevresel hızın testerenin yanal sapması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Tasarlanan yanal deplasman ölçüm ünitesine yerleştirilen lazer deplasman ölçüm cihazı ile deplasman ölçümlü yapılmıştır. Ayrıca mermer kesimi esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve harcanılan güçte kesme parametrelerine bağlı olarak ölçülmüştür. Her üç deneyde testere makineden sökülüp aşınma ünitesinde soket aşınması kaydedilmiştir.

Toplanılan tüm veriler birbirleri ile karşılaştırılmış ve aşınma ile yanal deplasmanı hangi kesme parametrelerinin daha fazla etkilediği ortaya konulmuştur. Daha az enerji ile daha fazla mermer kesebilmek için gerekli olan karşılaştırmalar yapılmış ve sonuçta da kesme derinliğinin artırılmasının yerine kesme hızının artırılmasının daha uygun olduğu saptanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dairesel testerelerle özellikle de aşınmaları ile alakalı çok sayıda çalışma olmasına rağmen bunlardan farklı olarak testerelerin titreşimi ve bu titreşimin kesme kuvvetleri, aşınma, spesifik enerji ve gürültü üzerine etkisinin araştırıldığı çalışma sayısı oldukça azdır.

Wang ve Clausen (2002) yaptığı çalışmada elmas takım ve soketlerin mermer kesme sürecinde aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Kesme prosesinde kinematik davranışları inceleyerek farklı kesme durumlarındaki elmas segmentlerinin aşınma davranışları ele alınmıştır. Deneysel yapılan çalışma sonucunda sulu ve kuru kesme prosesleri olarak iki farklı kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesme derinliğinin artması, soketlerin dış yüzeylerine gelen kuvvetleri arttırmaktadır. Farklı yapıda elmas tanecikleri dikkate alındığında testerenin üzerine gelen kesme kuvvetleri de farklılık göstermektedir. Kesme sürecinde tek tip mermer kullanılmış ve bütün süreçlerde sabit bir çevresel hız kabul edilmiştir. Çalışmada elde edilen diğer bir sonuç ise; kesme işlemlerinde soğutma sıvısı kullanılmasının soketin aşınmasını azalttığıdır.

Luo (1997) granit kesme işleminde elmas soketlerin aşınma yüzeylerini araştırmıştır. Belirli kesme süreçlerinde aşınma yüzeyleri elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Aşınmaya sebep olan bu süreci hızlandıran elmas kristali önemli bir faktör olarak görülmektedir. Aynı zamanda testerenin çapı, çaptaki segment sayısı ve kesilen yüzey yanında segment içindeki elmas konsantrasyonu aşınma için önemli bir kriter olmaktadır. Elmas konsantrasyonunun olması soket aşınmasını geciktirdiği görülmüştür.

Karagöz ve Zeren (2000) yaptıkları çalışmada mikro yapıların yardımı ile elmas kesici takımların optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Mermer, taş ve granit gibi malzemelerin kesilmesinde kullanılan elmas kesici takımlardaki genel kusurları araştırmışlardır. Elmasların kırılma özelliği dikkate alındığında üzerlerindeki gerilmelerin artmasıyla kırılabilirliğin arttığı görülmüştür. İyi bir elmas tasarımı için yüksek nitelikli matris tozları ve elmaslar seçilmelidir.

Wang ve Clausen (2003) yaptıkları çalışmada katrak kesme işlemi için bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada Monte Carlo simülasyon programı kullanılarak kesme

kuvvetleri ve soket aşınması tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuçta soket aşınmasının soketlerin kesme performansı ve ilerlemeye bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Farklı geometrik özelliklere sahip elmas şekilleri gelen kuvvetleri etkilediği gibi aşınma davranışlarını da etkilemektedir.

Xu, Li, Zeng ve Li (2002) yaptığı çalışmada farklı hızlarda dönen bir mermer kesme diskinde meydana gelen teğetsel ve normal kuvvetleri bir bilgisayara bağlanan konvertör ve dinamometre yardımıyla ölçmüşlerdir. Mermer kesme diskinde dönme hızının artması ile disk üzerine gelen kuvvetlerin ve kesme sıcaklığının arttığı görülmüştür.

Wright ve Jennings (1989) kesme diski üzerinde titreşim etkisinin miktarını saptamak için değişik çalışmalar yapmışlardır. Disk geriliminin yüksek oluşunun, kesme yönünden sapmalara ve güç tüketimini artırarak verimin düşmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Verimin düşmesi ile enerji kullanımının artacağı ve diskte aşırı bir aşınmanın olduğu görülmüştür.

Tönshoff ve arkadaşları (1993) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, elmas soketli testerelerle kaya kesme prosesini etkileyen başlıca parametreler olan; kesme derinliği (H_K), ilerleme (V_K), çevresel hız (V_C), birim zamanda kesilen alan (Q_w) ve spesifik enerji (SE)'nin saptanmasına yönelik varyasyon deneyleri yapmışlardır. Kesme parametreleri varyasyon deneylerinde ilerleme, kesme derinliği ve çevresel hız faktörlerinden sırayla ikisi sabit tutulurken biri değiştirilmekte ve kesme işlemi esnasında normal ve teğetsel kuvvet etkileşimleri gözlemlenmiştir.

Wright ve Jennings (1989)'e göre aşınmayı etkileyen önemli faktörlerden elmas tanesinin boyutu, soket yüzeyindeki çıkıntısını belirler ve kesme bölgesindeki talaşın ortamdaki atılmasını sağlar. Elmas tane boyutu ile kesicinin çevresel hızı ve kesme hızı arasındaki ilişki gözlemlenmiştir. Kesicinin çevresel hızı sabit kalırken, kesme hızı artarsa, elmas boyutunun da artırılması önerilmektedir. Çünkü her bireysel tane her disk dönüşünde kayaktan daha büyük hacimde tane koparacak, bunun sonucunda talaş

seçimini optimize etmek için daha da fazla ortamın talaştan arındırılmasına ihtiyaç duyulacağını ortaya koymuşlardır.

Cassapi (1987), Wright ve Jennings (1989) deneylerinde yalnızca magmatik kökenli kayalar ile kum taşı gibi çok sert ve oldukça aşındırıcı özellikler taşıyan kayalar üzerinde çalışmışlardır. Ancak; diğer mermer grupları (hakiki mermerler, kireçtaşları, travertenler ve oniksler) üzerinde deneyler yapılmamıştır. Ayrıca makine çalışma büyüklüklerinin (parametrelerinin) optimizasyonu yönünde deneyler yapılmayarak, sadece birim zamanda kesilen alan değişiminin güç tüketimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kesme işleminde kesme derinliği yalnızca 10mm olarak sabit alınmış ve her kayaç için bu durumdaki kesici elmas socketin spesifik aşınma miktarları ölçülmüştür. Kesme ortamına ait kinematiksel tanım yalnızca kesme düzlemindeki yatay ve dikey kuvvetleri kapsamakta olup, aksel kuvvet ile bu kuvvetler bağlı oluşan diğer kuvvetlerin kayaç kesme mekanizması üzerindeki etkileri tam olarak açıklanamamıştır. Kayaların mineralojik ve fiziko – mekanik özellikleri ile kesicinin spesifik aşınma oranı - kesme kuvveti arasındaki etkileşimin istatistiksel yöntemler yardımıyla tanımlanmış olması önem taşımaktadır. Ancak elde edilen ampirik yaklaşımlar yalnızca deneylerde kullanılan magmatik kökenli sert kayalar için geçerli olup, gelecekte yapılacak çalışmalara yol gösterici – yardımcı olması bakımından dikkate değerdir.

Xu, Li, ve Yu (2003)'nun yapmış oldukları çalışmada çeşitli sertliklerdeki granitleri farklı kesme parametrelerinde kesiciyi hiç bilemeden kesmişler ve normal ve teğetsel kuvvetlerin aşamalı olarak azaldığı aşınmanın ise bileme yapmamaları nedeniyle aşamalı olarak arttığı görülmüştür.

Polini ve Turchetta (2004) mermer kesim işleminde kesme parametreleri ve kesici optimizasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında mermere etkileyen kuvvetlerden hareketle hesaplanabilen spesifik enerji modelini kullanmışlardır. Chen (2000) ise bu tarz bir çalışmada orta sertlikteki çekikten yapılmış CNB kesici kullanarak yaptığı kesme deneylerinde oluşan kesme kuvvetleri ve kesilen mermer yüzeylerindeki deformasyonu incelemiştir.

Büyüksağış ve Gökten (2005) kesim sırasında mermere etkiyen kuvvetlerden hareketle harcanan enerjiyi hesaplamışlardır. Çalışmalarında tamamen bilgisayar kontrollü bir deney düzeneği kullanmışlardır. Farklı tipte mermer kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada iki farklı parametreye göre kesim enerjisi incelenmiştir. Çalışmalarını yedi farklı mermer üzerinde yapan ekip mermerlerin tamamında benzer değişimler olduğunu görmüştür.

Büyüksağış ve Gökten ile aynı deney platformunu kullanan Ersoy ve Atıcı (2003) ise mermer kesme parametrelerinin kesme performansına etkisini araştırmışlardır. Deneysel parametrelerden ikisini sabit alıp diğerini değiştirerek farklı tip mermerler için performans analizi gerçekleştirmişlerdir.

Exadaktylos ve Kaklis (2000) yaptığı çalışmada üzerine basınç gelen izotropik bir diskte meydana gelen gerilme ilişkilerini ortaya koyan bir çözüm gerçekleştirmişlerdir. Deneysel yöntem geliştirilerek yapılan bu çalışmada Brezilya yöresinden çıkarılan anizotropik bir kayaç kullanılmıştır. Çalışmanın ilk adımı olarak izotropik olmayan disklerdeki gerilme dağılımını ifade eden Lekhnitski'nin formülizasyonu açıklanmıştır. Deneysel çalışmada kesme esnasında disk yüzeylerinde basınçların oluştuğu ve bu basınçla birlikte diskte meydana gelen teğetsel ve radyal gerilmeler ortaya konmuştur. Bulunan radyal ve teğetsel gerilmelerde diskin orta bölümünde maksimum değere ulaşmasına karşın, disk göbeği ve dış çevrede çok küçük gerilme değerleri elde edilmiştir. Diskte meydana gelen şekil değiştirme ilişkilerini uygulayan kuvvete göre oranladığımızda disk merkezinde minimum ve disk çevresi boyunca maksimum değerleri almaktadır.

Blech ve Hershkovits (1983) yaptıkları çalışmada sabit bir açısal hızla ince izotropik ve asimetric olan diskte meydana gelen radyal ve teğetsel gerilmeleri aynı zamanda diskteki yer değiştirmeleri incelemişlerdir. Sabit bir açısal hızla dönen izotropik disklerde gerilmeler kalınlığa bağlı olarak değişmektedir. Asimetric olan disklerde kalın olan bölgede gerilme değerlerinin yüksek çıktığı görülmüştür.

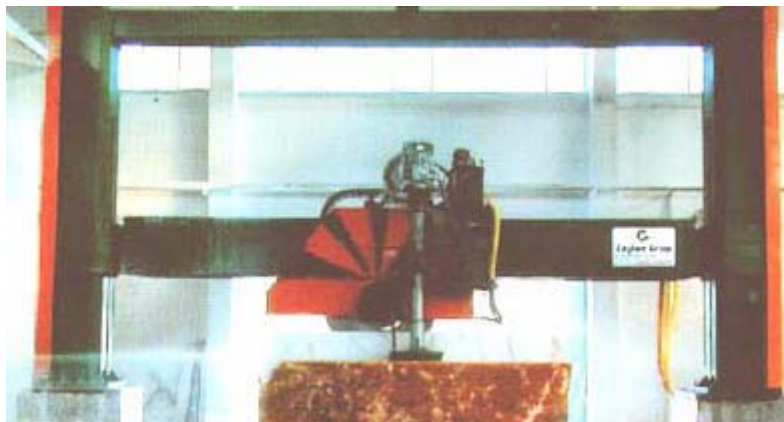
Tönshoff ve arkadaşları (1993 ve 1994), Wobker ve przwara (1994) tarafından yapılan çalışmalarda makine - kesici uç - kayaç arasındaki etki,leşim mekanizmaları tanımlanarak, makine çalışma büyüklüklerinin optimizasyonu, talaş oluşum

mekanizması ve çalışma büyüklüklerine göre şekilsel değişimleri incelenmiş, kesilen kayaç için en uygun kesicinin belirlenmesi konuları araştırılmıştır. Bu çalışmalar dairesel testerelerle kayaç kesme prosesine oldukça önemli açıklıklar getirmekte ve uygun makine çalışma şartlarının ve kesici seçiminin nasıl yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

3. MERMER KESMEDE KULLANILAN MAKİNELER

3.1. S/T Makineleri

Makineye S/T adını Stripper ve Trimmer kelimeleri vermektedir. Stripper kelimesi “dilimleyerek ayırmak”, Trimmer kelimesi ise “keserek ayırmak” anlamına gelmektedir. S/T makineleri blok ve molozlardan plaka üretiminde kullanılmaktadır. İki veya dört kolonlu yapıda üretilirler. Resim 3.1’de görülen iki kolonlu S/T makinelerde; kesme ünitesinin yatay düzlemde sağa-sola hareketini sağlayan köprü ünitesi bu iki kolon üzerine monte edilmiştir. Ayrıca köprü dişli miller yardımıyla olarak aşağı-yukarı hareket edebilir. Kolonların arasındaki vagon üzerine yerleştirilen taşın ileri geri hareketi de vagon vasıtası ile yapılır. Kesme ünitesinin köprü üzerindeki hareketi kramayer dişli grubu ile, hareket ise hidrolik olarak kontrol edilir. Düşey disk düşey düzlemde, yatay disk yatay düzlemde dönüş hareketi yaparak kesme işlemi yapar. Düşey disk bloğu istenilen kalınlıkta dilimlerken, yatay disk, dilimleri mermerden ayırır. Bu iki işlem aynı anda yapılabildiği gibi önce dilimleme sonra dilimleri bloktan ayırma işlemi de yapılabilir. Resim 3.2’de görülen dört kollu S/T makinelerde ise; blok kolonların altında sabit olarak kalmakta, tüm hareketi köprü ünitesi yapmaktadır. Bloğun sabit kalması ve hareketin köprü ile verilmesinden dolayı hassas toleranslarda ölçü ve yüzey kalitesi daha düzgün kesimler yapılabilir. Dört kollu S/T makinelerde üretilen plakalar hassas üretimden ötürü daha az işleme tabi tutulduğu için maliyette düşer.



Resim 3.1 İki kolonlu S/T mermer kesme makinesi (İnt. Kyn. 1)



Resim 3.2 İki kolonlu S/T mermer kesme makinesi (İnt. Kyn. 1)

3.2. Mermer Kesme Diskleri ve Kesici Soketler

3.2.1. Mermer Kesme Diskleri

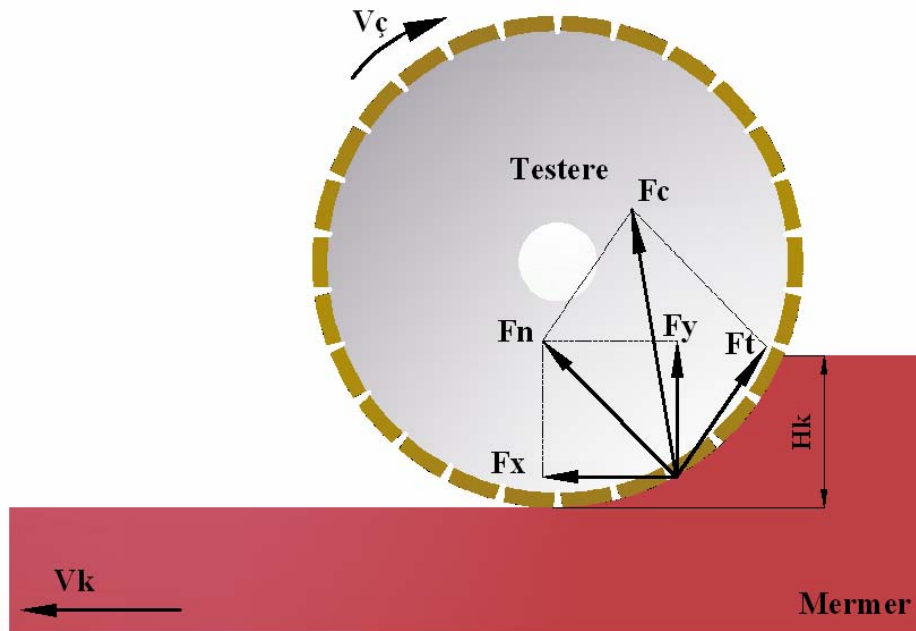
Mermer endüstrisinde kullanılan dairesel testereler günümüze kadar sürekli değişen bir süreç izlemiştir. Mermer kesme işlemi için önceleri lamalar kullanılmaktaydı. Katrak adı verilen bir makineye bağlanan bu lamalar ileri-geri hareket ettirilmesi esnasında ortama katılan metal granüller sayesinde kesme işlemi gerçekleşmekteydi. Yapılan çalışmalar sonucunda ilk olarak XIX. Yüzyılın ortalarında Fransa’da ilk kesici disk imal edilmiştir. Günümüzde ise en çok kullanılan kesme elemanlarıdır. Bu diskler 200–3500 mm arasında değişen çaplarda imal edilir ve 1000-5000dev/dk. hızlarda kesme yapabilirler. Mermer kesme diskleri gövde ve soketler olmak üzere 2 farklı kısımdan oluşmaktadır. Disk çevresine belli sayılarda lehimle bağlantı yapılan soketler kompozit olarak imal edilmekte ve esas kesme işlemini sağlamaktadır. Gövde ise, soketlerin kesmesi için hareket kabiliyeti veren ve özel alaşımli Ç1070–1080 malzemeden imal edilmektedir.

Mermer kesme diskleri çapa bağlı olarak değişik kalınlıklara sahip olabilirler. Bu farklılığın yanında özellikle sürtünmenin olmaması için segment kalınlığı disk kalınlığından fazla tutulmaktadır. Mermer kesme diskleri S/T mermer kesme makinelere bağlanmaktadır. Testerenin çapına bağlı olarak farklı motorlardan güç alan kayış-kasnak mekanizması hareketi testerenin bağlı olduğu mile aktararak kesme işlemini sağlamaktadır. Testereyi düzgün bir şekilde bağlamak kesilen mermer parçası ve testere için önemlidir. Aynı zamanda testere çapına bağlı olarak çeşitli flanşlar kullanılmaktadır. Bu flanşlar testerede meydana gelebilecek olan salınımları

azaltmaktadır. Flanş çapının artması salınımı düşürdüğü gibi, diskin talaş derinliğini de azaltmaktadır. Bu nedenle flanş çapı talaş derinliği göz önüne alınarak seçilmelidir.

Mermer kesme işleminde kayacın özelliği diskin performansı açısından belirleyici bir faktördür. Doğal olarak çıkartılan mermerin sertlik özellikleri farklılık gösterdiği için diski farklı şekillerde zorlayabilmektedir. Kesilen mermerin özelliği yanında kesme hızı, talaş derinliği ilerleme, soğutma sıvısı kullanılıp kullanılmadığı, soğutma sıvısının cinsi ve miktarı önemli kesme parametreleridir.

Kesme işlemi esnasında disk ve soket aşınma, sürtünme, basınç gibi değişik zorlanmalara maruz kalır. Bu zorlanmalar disk de belirli bir hasara veya soket kırılmasına yol açabilir. Testere ve sokette meydana gelen bu hasar ile diske gelen tepki kuvvetleri arasında lineer bir ilişki bulunmaktadır. Şekil 3.1’de bir mermer kesme diskinin üzerine gelen tepki kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Mermer kesme diskinin kinematik davranışları

Mermer kesme işleminde deneysel olarak hesaplanan kuvvetlerde kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri dikkate alınmaktadır (Ersoy ve Atıcı 2004). Yapılan bu çalışmalar çerçevesinde kuvvetleri analitik olarak inceleyebiliriz. Kesme işlemi yapan

bir testerede dişey (F_y) ve yatay (F_x) kuvvetlerinin etkisi altında normal kuvveti yazacak olursak,

$$F_n = F_y \cos \alpha + F_x \sin \alpha \quad (3.1)$$

ile ifade edilir. Aynı zamanda bu kuvvetler ile birlikte teğetsel kuvvet,

$$F_t = F_y \sin \alpha + F_x \cos \alpha \quad (3.2)$$

ile hesaplanır. 3.1 ve 3.2 eşitliklerden disk üzerindeki kesme kuvveti,

$$F_c = \sqrt{F_n^2 + F_t^2} \quad (3.3)$$

olarak hesaplanmaktadır. Genel olarak bütün kesme proseslerinde bu formülasyon göz önüne alınıp, model için enerji, talaş kaldırma oranları ve kesme hacmi gibi değişik parametreler bulunmaktadır.

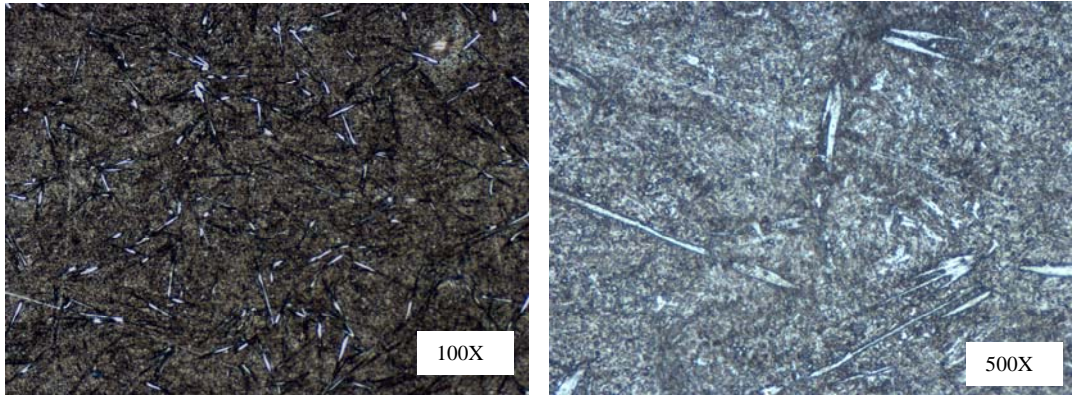
3.2.2. Kesici Soketler

Kesici testerenin çevresine belli sayılarda lehimle tutturulan ve mermeri kesmeyi sağlayan kesici elmas soketler kobalt (Co), gümüş (Ag), krom (Cr), bakır (Cu), titanyum (Ti), kalay (Sn), nikel (Ni), gibi elementlerin belirli oranlarda karıştırılarak toz metalürjisi yöntemi ile elde edilmektedir. Sokette esas kesme işlemini içerisine belli oranlarda katılmış elmas tanecikler yapmaktadır.

Yukarıda verilen elementler karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında preslenmektedir. Belirli oranlarda preslenen matris, özel elektrik fırınlarında sinterlenmektedir. Sinterleme için ilk önce 800°C'ye kadar bir ön ısıtmaya tabi tutulur. Bu ön Sinterleme ucun dayanımını belirli oranlarda artırmaktadır. Son Sinterleme için 1420°C'de 30 dakika vakum altında sinterleme yapılır. Sinterleme esnasında oksitlenmeyi önleyici azot gazı ilave edilmektedir. Sinterleme işleminde ısının yükselmesi ile metal tozlar

eriyerek alaşım oluşturmaktadır. Bu işlem sonrasında matriste herhangi bir deformasyon meydana gelmemesi için fırının ısısı düşürülerek soğutma yapılmaktadır (Saritaş 1995).

Soket içerisine belirli oranlarda karıştırılmış olan elmas taneciklerinin yoğunluğu kesme verimliliğini etkilediği gibi soket aşınması üzerine etkisi büyüktür. Soket matrisinin içerisine katılmış olan titanyum (Ti), elmas matrislerinin matris içerisinde sağlam bir şekilde tutunmasını sağlar. Krom (Cr) soket yüzeyinin aşınma direncini artırarak matris içinde elmas taneciklerinin erken kopmasını engeller. Kobalt (Co) sokete sertlik vermektedir ve kobalt oranı soketin aşınmasını engelleyen en önemli faktörlerden biridir. Kobalt oranını artırmak aşınmayı düşürmesine karşılık soketin kırılgenliğini artırmaktadır. Nikel (Ni) ise, sokette meydana gelecek olan oksitlenmeyi engellemektedir.



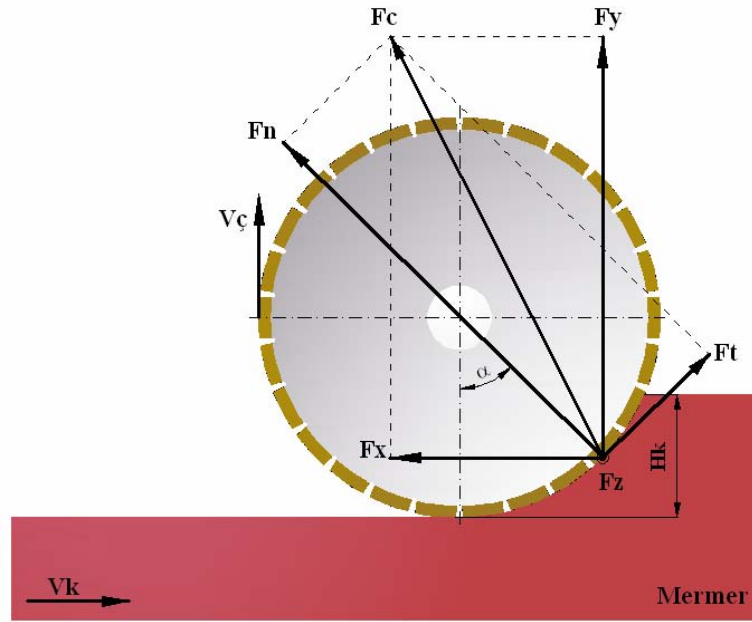
Resim 3.3 Kesici disk malzemesinin mikro yapısı

Yeni üretilen bir soket yüzeyi açılmadan mermer kesme işlemi yapılamaz. Soketin bilenmesi için, yüksek sertlikteki beton plakaların kesilmesi gerekmektedir. Bu süreçten sonra bileme işlemi gerçekleştirilir. Elmas soket ile kesme esnasında oluşan ısı sisteme verilen belirli bir basınçlı su ile ortadan kaldırılmaktadır. Sisteme verilen su ısıyı azalttığı gibi kesme esnasında oluşan tozları kesme bölgesinden uzaklaştırarak daha rahat bir kesme işlemine imkân sağlar.

4. KESİCİ DİSKİN KESME MEKANİZMASI VE AŞINMA

4.1. Kesme Mekanizması

Mermer kesme işleminde kayacın özelliği diskin performansı açısından belirleyici bir faktördür. Doğal olarak çıkartılan mermerin sertlik indisleri farklılık gösterdiği için diski farklı şekillerde zorlayabilmektedir. Kesilen mermerin özelliği yanında çevresel hız, kesme derinliği, ilerleme ve soğutma sıvısının etkisi önemli kesme parametreleridir. Bir mermer diskinde kesme esnasında iki temel kuvvet etki eder. Bunlar; teğetsel kuvvet, F_t ve normal kuvvet, F_n dir(Şekil 4.1). Ayrıca, F_c kesme kuvveti, F_y düşey kuvvet ve F_x ise yatay kuvvettir.



Şekil 4.1. Diskin kesme esnasında maruz kaldığı kuvvet bileşenleri.

Mermer kesme işleminde deneysel olarak hesaplanan kuvvetlerde kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametreler dikkate alınmaktadır. Kesme işlemi yapan bir testerede meydana gelen F_n ve F_t kuvvetleri deneysel olarak ölçülebilen düşey ve yatay kuvvetlerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

Genel olarak bütün kesme işlemlerinde 3.1-2-3'deki formülasyon göz önüne alınıp model için enerji, talaş kaldırma oranları ve kesme hacmi gibi değişik parametreler hesaplanabilmektedir. Mermer endüstrisi için büyük öneme sahip spesifik enerji(SE)'nin hesaplanması ise;

$$Pc = F_t \cdot V_\zeta \quad (4.4)$$

$$SE = \frac{Pc}{Q_w} = \frac{F_t v_\zeta}{H_K G_s V_k} \quad (4.5)$$

formülü ile yapılır. Buradaki Pc bir diskin kesme işlemini gerçekleştirebilmek için gerekli motor gücünü, Q_w birim zamanda kesilen hacim, V_ζ çevresel hızı, H_K kesme derinliğini, G_s elmas soket genişliğini V_k 'da ilerleme hızını ifade etmektedir.

4.2. Aşınma

Aşınma mekanik etkiler neticesi katı yüzeylerde meydana gelen malzeme kaybıdır. Makine parçaları için oldukça önemli bir hasardır. Aşınma katsayısı, aşınan hacmin plastik olarak deformasyona uğramış hacme oranıdır.

$$k = \frac{V}{\frac{F_n}{(HB)} L} \quad (4.6)$$

Bu bağıntıda: V aşınan hacmi, $\frac{F_n}{(HB)}$ plastik deformasyona uğramış pürüzlülük tepe noktalarının yüzey alanını, (HB) malzemenin Brinell sertlik değerini(kg/mm²), F_n yüzeye normal yönde etkiyen kuvveti, L ise kayma uzunluğunu ifade etmektedir.

Makinecilikte en çok adezyon ve abrazyon iki farklı aşınma vardır. Adezyon aşınması, makine parçaları yüzeylerinin mikron mertebesindeki pürüzlerinin temas halinde iken pürüzlülüklerin birbiri üzerinde sürtünmesi neticesi malzeme kaybı olarak tanımlanabilir. Sürtünme iki katı cisimden biri diğerinin üzerinde kayarken gösterilen dirençtir. Direnç kuvveti, hareket yönüne paraleldir ve ters yöndedir. Abrazyon aşınması ise, sert bir cismin yüzeyden madde kopararak madde kaybına sebep olmasıdır(Can 2003). Bizim kesme işlemimizde mermerden talaş kaldırmamızda bu yöntem ile gerçekleşmektedir.

5. MATERYAL METOT

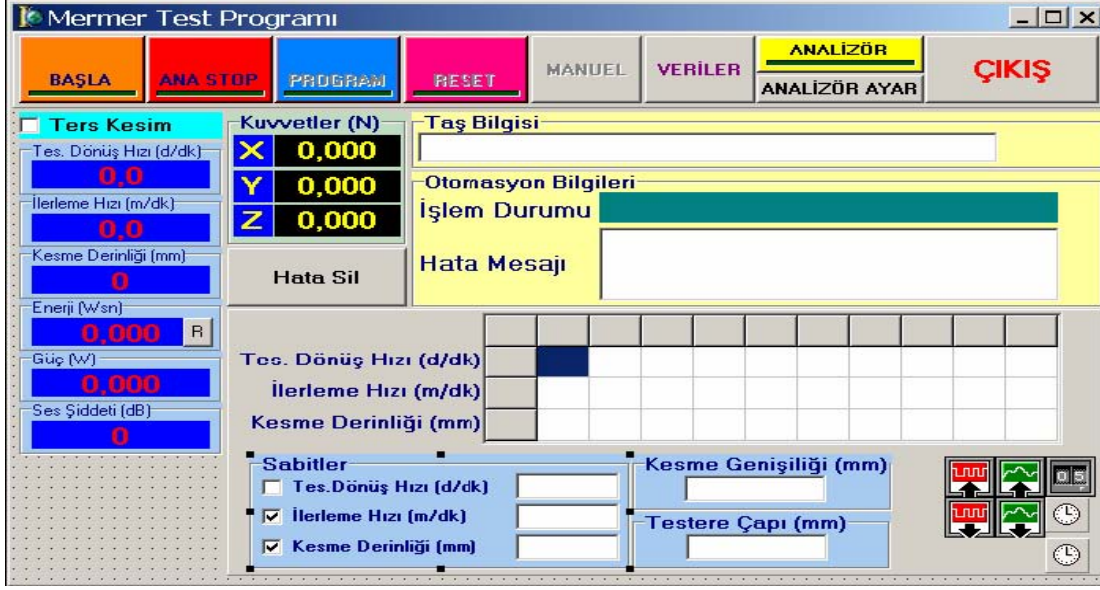
5.1. Materyal

5.1.1. Deneylerde kullanılan dairesel testere blok kesme makinesi

Deneylerde kullanılan dairesel testere blok kesme makinesinin yapısı yan kesme makinesine benzemektedir. S/T makinelerde düşey ve yatay olmak üzere iki testere bulunurken deneyler için kullanılan mermer kesme makinesinde sadece düşey testere bulunmaktadır. Yatay testerenin kesme işlemindeki etkisi ihmal edilebileceğinden sadece düşey testere kullanılmıştır. Deneyler için kullanılan mermer kesme makinesi tamamen bilgisayar kontrollü olduğundan hassas ve seri olarak deneyler yapılabilmektedir. Resim 5.1'de makinenin bir görünüşü verilmiştir. Ayrıca Resim 5.2'de makinenin bilgisayarla kontrolü için tasarlanan programa ait bir ara yüz görüntüsü verilmiştir. Deneylerde kullanılan mermer kesme makinesi bilgisayarla kontrollü olup, tüm kesme parametreleri bilgisayardan kontrol edilebilmektedir.



Resim 5.1 Mermer kesme makinesi



Resim 5.2 Ana menü ekran görüntüsü

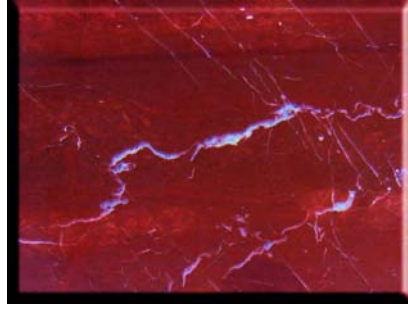
Makinede testereyi taşıyan platform yukarı-aşağı ve öne-arkaya hareket etmekte ilerleme ise mermerin yerleştirildiği dinamometreyi taşıyan tabla ile verilmektedir. Testerenin öne-arkaya hareketi ile mermer dilimlerinin kalınlığı, aşağı yukarı hareketle de kesme derinliği kontrol edilmektedir. Testere yatay ve düşey ekseninde hareket edebilen bir platform üzerine monte edilmiş ve kızaklarla yataklanmıştır. Kızakların hareketi sonsuz dişlilere bağlı 0.75kW motorlu redüktör ile sağlanmaktadır. Redüktör milinin bir ucu sonsuz dişliye bağlı iken diğer ucu altı kanatlı bir pervaneye bağlanmıştır. Pervane üzerindeki kanatlar sayesinde hareket miktarı milimetre hassasiyetinde belirlenebilmektedir.

Vagonun ileri-geri hareketi çark zincir sistemi ile gerçekleştirilmekte ve sistemin hareketi 0.75kW motorlu redüktör ile sağlanmaktadır. Çark zincir sistemi sayesinde vagonun ileri-geri hareketinin kesintisiz ve darbesiz olması sağlanmaktadır.

Testerenin dönme hareketi kasnak kayış sistemi ile gerçekleştirilir. Testere 400mm çapa sahiptir ve 5.5kW gücünde motorla kontrol edilmektedir. Motorun mili kasnak-kayış sistemindeki, kasnaklardan küçük olanına bağlıdır. Diğer kasnak platforma yataklanmış testere miline bağlıdır. Motor ve testere arasındaki güç aktarımı kasnaklar arasında çalışan üç kayış ile sağlanmaktadır. Ayrıca testere miline bağlı olan kasnakla akuple çalışan taka-generatör ile testere dönüş hızı ölçülmektedir.

5.1.2. Çankırı Kahverengi Mermerin Mineralojik ve Fiziksel Özellikleri

Resim 5.3’de görülen Çankırı Kahverengi mermeri genelde 1,2 µm boyutlarındaki kalsit kristallerinden oluşmaktadır(Resim 5.4). Ayrıca kayacın büyük bir bölümünde değişik doğrultularda birimi kesen 5–40µm kalınlığında çatlaklar gözlenmiştir. Söz konusu çatlaklar bazı bölgelerde belirgin ikizlenme sunan sekonder kalsit dolguludur(Resim 5.5). Sekonder kalsit kristallerinin boyutu 20–40µm arasında değişmektedir. Bazı bölgelerde ise demir ve manganlı eriyikler çatlaklar boyunca kayaca yerleşerek hematit ve mangan minerallerini meydana getirmiştir(Resim 5.6). Kayacın kahverengimsi renk tonu, söz konusu minerallerden kaynaklanmaktadır. Kalsit minerallerinin kristal boyutunun çok küçük olmasıyla, hematit ve mangan minerallerinin varlığı kayacın kesilebilirliğini olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir.



Resim 5.3 Çankırı Kahverengi mermeri

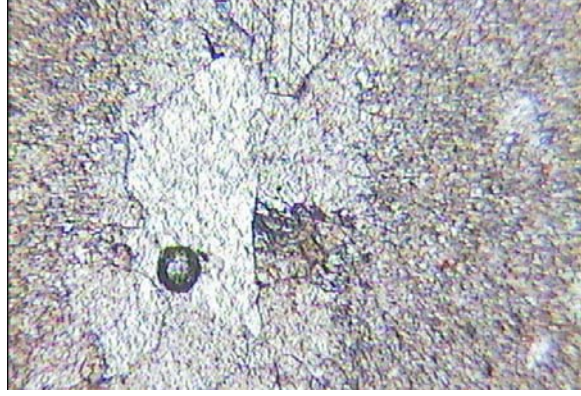
Çalışmada kullanılan Çankırı Kahverengi mermerine ait fiziksel ve kimyasal özelliklerini tespit etmek amacıyla bir takım standart analizler yapılmıştır. Elde edilen kimyasal analizlerin sonuçları(Tablo 5.1) kayacın içerisinde önemli miktarda CaO olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte TS699’a göre yapılan fiziko-mekanik test sonuçları Tablo 5.2’de verilmektedir.



Resim 5.4 Mikro kristalin kalsit mineralleri.



Resim 5.5 Sekonder kalsit minerallerinde ikizlenmeler.



Resim 5.6 Çatlaklar boyunca kayaca yerleşen hematit ve mangan mineralleri.

Tablo 5.1 Çankırı kahverengi mermer a ait kimyasal analiz sonuçları

CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Kızdırma kaybı (%)
52,205	1,73	1,005	1,19	43,16

Tablo 5.2 Çankırı kahverengi mermerin fiziko-mekanik özellikleri (TS 699' a göre)

Deney İsmi	Birim	Değer
Sertlik	(mohs)	3-4
Birim hacim ağırlık	(g/cm ³)	2,71
Atm. Basıncında Su Emme	Ağırlıkça (%)	0,1
Atm. Basıncında Su Emme	Hacimce (%)	0,1
Kaynar Suda Su Emme	Ağırlıkça (%)	0,1
Kaynar Suda Su Emme	Hacimce (%)	0,2
Görünür Porozite	(%)	0,1
Tek Eksenli Basınç Direnci	(kgf/cm ²)	776,25
Don Sonrası Tek Eksenli Basınç Direnci	(kgf/cm ²)	631,4
Don Kaybı	(%)	0,01
Darbe Direnci	(kgf.cm /cm ³)	6,0
Eğilme Direnci	(kgf/cm ²)	142
Doluluk Oranı	(%)	99,1
Gözeneklilik Derecesi	(%)	0,9
Ort. Aşınma Direnci	(cm ³ /50 cm ²)	21,8
Sismik Hız	km/s	6,8
Schmidth Hardness	SRH	68,7

5.1.3. Enerji analizörü

Enerji analizörü testere motorunun elektrik enerjisi tüketimini tespit etmek üzere kullanılmaktadır. Testere motoru invertör ile kontrol edilmektedir. İntertör ise doğrusal yükler olmadığından şebekeden çektikleri akımın dalga şekli uygulanan gerilimden farklı olmaktadır. Bu durum çekilen akımda harmonikler oluşturmakta ve normal ölçü aletleri ile bu akımı ölçmek imkânsız hale gelmektedir. Dolayısıyla testere motorunun invertör ile kontrol edilmesi, harmonik analizi yapabilen bir analizörün kullanmasını zorunlu kılmıştır. Yukarıda anlatılan bu durum dikkate alınarak Electro Industries Gaugetech firmasının Shark 100 model enerji analizörü seçilmesi uygun görülmüştür. Seçilen enerji analizörü %0.2 sınıfında yüksek doğruluğa sahip enerji ölçümlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ayrıca bilgisayar, plc gibi çevre donanımlarla veri alış verişi için RS-485 terminali ve uzaktan kablosuz iletişimde kullanılan Irda kızılötesi terminaline sahiptir. Ayrıca veri iletişimde Modbus RTU, Modbus ASCII ve DNP 3.0

haberleşme protokolleri desteklenmektedir. Resim 5.7’de deneylerde kullanılan enerji analizörünün görünüşü verilmektedir.



Resim 5.7 Enerji analizörü görünüşü

Analizörün ön yüzeyinde; dört basamaklı üç ekran, parametre göstergesi, okuma tipi göstergesi, yüzde olarak yük gösterge çubuğu, IrDA kızılötesi uzaktan erişim terminali ve menü erişim butonları bulunmaktadır.

5.1.4. Kuvvet göstergeleri

Kuvvet göstergeleri kesilecek kayaca etkiyen kuvvetlerin ölçümünde kullanılmaktadır. Göstergeler ESİT firmasının PWI-P model ürünüdür. PWI-P göstergeleri hızlı, duyarlı, doğruluk sınıfı yüksek olan kuvvet ve basınç ölçme işlemlerinde kullanılmaktadır. Aşağıda Resim 5.8’de kullanılan kuvvet göstergesinin görünüşü verilmektedir.



Resim 5.8 Kuvvet göstergesi görünüşü (İnt. Kyn. 2)

Cihaz endüstriyel uygulamalarda ve standart ağırlık ölçme alanlarında kullanılmaya uygun tasarlanmıştır. Bilgisayarlı ve PLC'li uygulamalar için haberleşme imkânı sunmaktadır. Ayrıca ağırlık bilgisini otomasyon elemanlarına aktarabilmek için analog çıkışı bulunmaktadır. Gerçekleştirilen makinede söz konusu analog çıkışlardan faydalanılmıştır. Analog çıkış ölçülen kuvvetle orantılı olarak 0 ile $\pm 10V_{dc}$ arasında gerilim vermektedir.(Çınar 2007)

5.1.5. Gürültü ölçer

Gürültü ölçer makinenin kesim sırasında meydana getirdiği gürültüyü ölçmek için kullanılmaktadır. Gürültü ölçer el tipi taşınabilir bir ölçü aleti olup üzerinde gürültü seviyesini gösteren bir ekranı bulunmaktadır. Ayrıca cihaz üzerinde gürültü seviyesi ile orantılı 0 ila $\pm 3V_{dc}$ gerilim verebilen analog çıkış bulunmaktadır. Böylece anlık ölçümler doğrudan bilgisayarda görülmektedir. Aşağıda Resim 5.9'da gürültü ölçerin görüntüsü verilmektedir.



Resim 5.9 Kesme deneylerinde kullanılan gürültü ölçer

5.1.6. Dinamometre

Makinenin kesme işlemi sırasında kayaca etkiyen kuvvetlerin ölçümü dinamometre ile gerçekleştirilmektedir. Dinamometre ESİT firmasına özel olarak yaptırılmış olup üç boyutlu kuvvet ölçümü yapmak için üzerinde üç yük hücresi bulunmaktadır. Aşağıda Resim 5.10'da özel tasarım dinamometrenin görüntüsü verilmektedir.

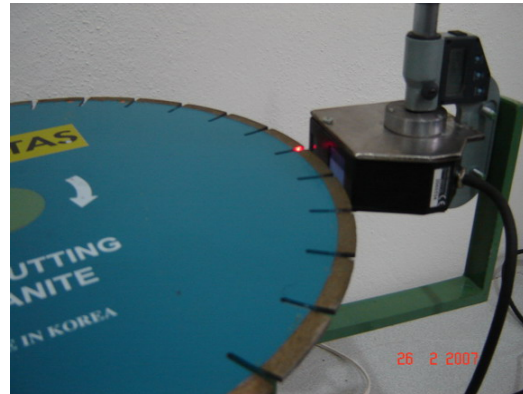


Resim 5.10 Kesme kuvvetlerini ölçme işleminde kullanılan dinamometrenin görünüşü

Görüldüğü gibi dinamometre üzerinde yük hücresi kabloların bağlandığı özel bir soket bulunmaktadır. Bu soketten üç adet bilendajlı kablo ile çıkış yapılmaktadır. Yük hücrelerinin ürettiği elektrik sinyali doğrudan endüstriyel kart tarafından ölçülebilecek seviyede olmadığından yükseltme, filtreleme ve doğrusallaştırma gibi sinyal koşullandırma işlemlerinin yapılması gerekmektedir.

5.1.7. Aşınma cihazı

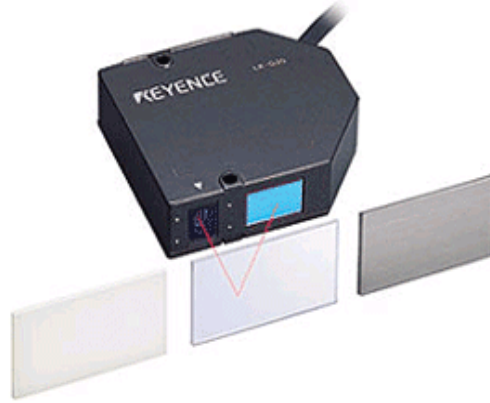
Diskin her üç deney sonrasında çevresindeki soketlerde meydana gelen aşınmanın ölçümü için tasarlanan bir düzenek kullanılmıştır (Resim 5.11). Bu düzenekte step motor kullanılarak devir sayısı istenildiği gibi ayarlanabilmektedir. Lazer sensörünün konumu dijital mikrometre ile ayarlanabilmektedir. Lazer sensörden alınan datalar 0,2µm hassasiyetinde olup, her üç kesme işlemi sonrasında soketlerdeki aşınma oldukça hassas bir şekilde ölçülebilmektedir. Soketlerdeki aşınma genellikle kumpaslar vasıtasıyla ölçüldüğü düşünülürse bu yöntemle oldukça hassas sonuçlar elde edilebilmektedir.



Resim 5.11 Soketlerde meydana gelen aşınmanın ölçümü için tasarlanmış düzenek.

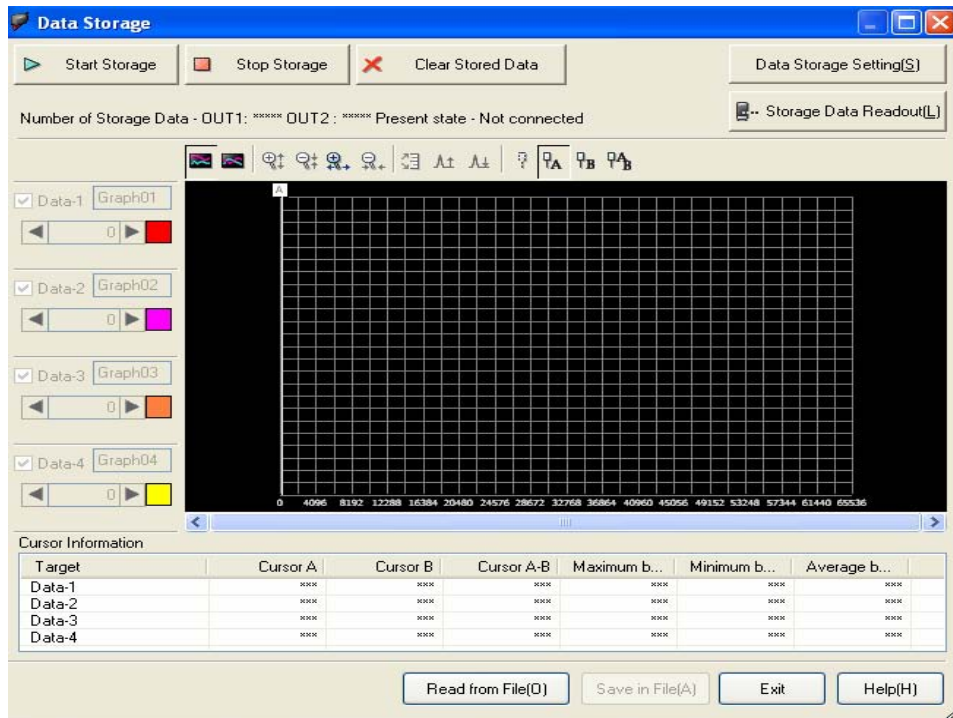
5.1.8. Lazer deplasman ölçer

Soketler üzerindeki aşınmanın ölçülmesi ayrıca kesme anında testerenin titreşiminin ölçülmesi için saniyede 55000 veri alabilen bir lazerli deplasman ölçer kullanılmıştır. Aşağıda Resim 5.12’de lazer deplasman ölçerin görünüşü verilmektedir.



Resim 5.12 Keyence marka Lazer deplasman ölçüm ünitesi (İnt. Kyn. 3)

Keyence marka Lk serisi lazer 0,2 μ m hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir. Lazer mesafe ölçerden alınan veri bilgisayarda mesafe ölçerin kendi programı vasıtası ile işlenmiştir. Ölçüm sırasında dataların alınması ve işlenmesi için kullanılan programın görünüşü Resim 5.13.’de verilmektedir.

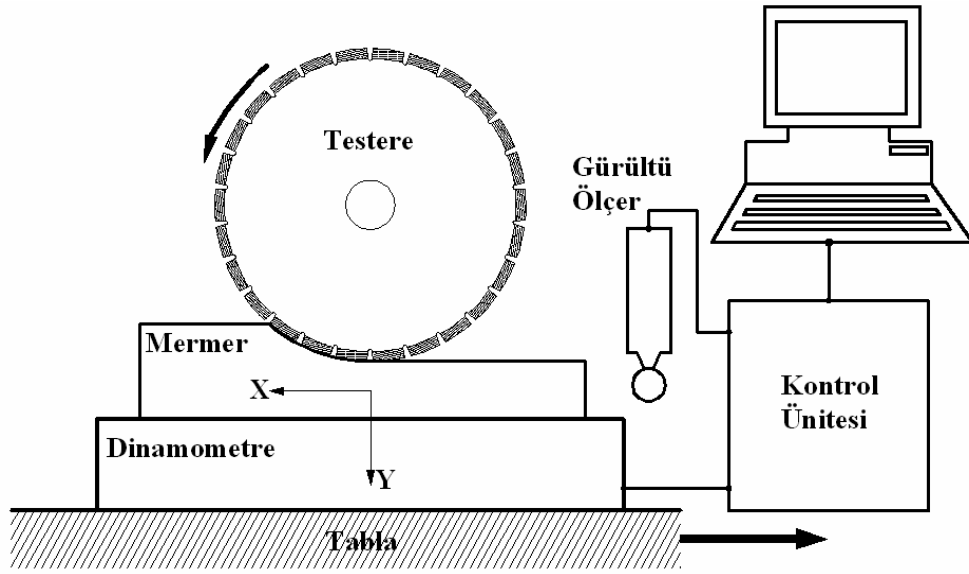


Resim 5.13. Lazer deplasman ölçüm yazılımı ara yüzü

5.2. Metot

5.2.1. Deneysel prosedür

Bu çalışmada kullanılan mermer kesme makinesi, endüstride “Yan Kesme” olarak bilinen mermer kesme makinesine benzemektedir. Endüstride kullanılan S/T mermer makinelerinde düşey ve yatay olmak üzere iki kesici testere bulunmasına rağmen, bu çalışmada kullanılan makine üzerinde sadece düşey testere bulunmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Deneysel çalışmada kullanılan ST mermer kesme makinesinin görünüşü

Geliştirilen mermer kesme makinesi tamamıyla bilgisayar kontrollü olup soğutma sıvısının debisi, kesme derinliği, kesme hızı ve çevresel hız bilgisayar yazılımı ile kontrol edilebilmektedir. Kesme kuvvetlerinin ölçümü için üç boyutlu dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometreler yardımıyla mermerin kesimi esnasında oluşan F_x , F_y , F_z yönlerindeki tepki kuvvetleri ölçülmüştür.

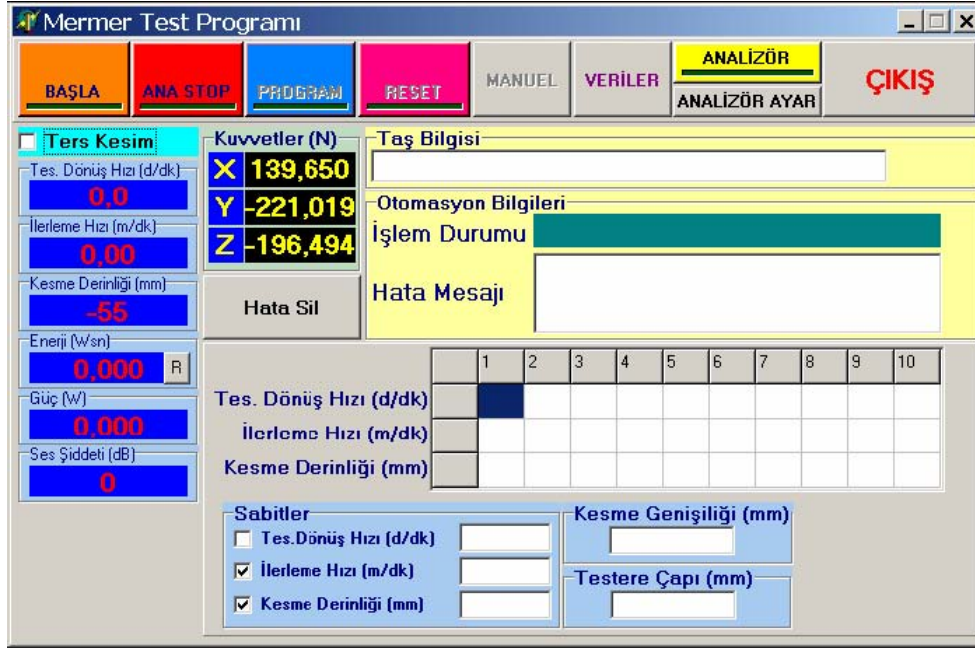
Kesme deneylerinde kullanılan kesici disklerdeki soket matrisi Co bazlı olup, matris içerisinde kullanılan elmasların tane büyüklüğü ise 40–50 μm 'dur. Kullanılan elmas cinsi SDA 85 ve matrisin sertliğinde 100 HRB olarak ölçülmüştür. Soketteki elmas yoğunluğu ise hacimce %25–30 arasındadır. Soketlerin kaynatıldığı testere gövdesi ise AISI 1075 yüksek karbonlu çelikten imal edilmiştir. Asıl kesme işlemini yapan elmas soketler ise; farklı (Co, Ni, Cu, Fe) elementlerin belirli oranlarda karıştırılarak toz

metalürjisi yöntemi ile elde edilmiştir. Aşındırıcı özelliğe sahip ve kesme işleminde önemli rol oynayan elmas tanecikler taşın cinsine göre belli oranlarda soket içerisinde katılmaktadır.

Makinede kullanılan soğutma sıvısının debisi de oluşacak kesme kuvvetleri ve dolayısıyla kullanılacak enerji için önemli bir unsurdur. Mermer kesme işleminde genellikle soğutma sıvısı olarak su kullanılmaktadır. Pulser'li CSD model Singlejet sayaç vasıtası ile suyun debisi kontrol edilebilmektedir. Tüm deneylerde suyun debisi 15m³/dk alınmıştır.

Çalışmada, 400 mm çaplı dairesel testere kullanılmıştır. Düzenek üzerinde 5,5kW'lık güce ve 36,7Nm'lik torka sahip bir motor kullanılmıştır. Çalışmanın amacı Çankırı kahverengi mermer için en uygun kesme parametrelerinin tayini ile en düşük enerji sarf edilerek kesme işlemini gerçekleştirmek olduğundan uygun kesme parametrelerini belirlemek amacıyla çevresel hız (Vç), ilerleme (Vk), kesme derinliği (Hk) gibi kesme parametreleri değişken olarak alınmıştır. Kesme derinliği için 20–35–50mm, ilerleme 0,3–0,4–0,5–0,6m/dk ve çevresel hız ise 30–35–40m/sn olarak alınmıştır.

Makineyi kontrol eden ara yüz yazılımı bir ana program ve üç alt pencere olmak üzere dört pencereden oluşmaktadır. Ana pencere üzerinde bulunan göstergeler, butonlar, parametre giriş alanları, hata bildirim alanı bileşenler ile kullanıcının deneyleri rahat bir şekilde gerçekleştirebilmesi sağlanmaktadır. Makine ile çalışmaya başlayabilmek için öncelikle elektrik şalterinin 1 konumuna alınıp bilgisayarın başlatılması gerekmektedir. Ardından ara yüz yazılımı başlatılmalı ve Resim 5.14'de verilen pencere görüntülenmelidir. Pencere üzerindeki "BAŞLA" butonu programın aktif konuma geçmesini sağlamaktadır. Ancak "BAŞLA" butonuna tıklanmadan önce elektrik panosundan manuel start işleminin yapılması gerekmektedir. Pano startı yapıp ana pencereden "BAŞLA" butonu tıkladığında makinenin tüm kontrolü ara yüz yazılımına geçmektedir.



Resim 5.14 Ara yüz yazılımı ana pencere görüntüsü

Deneye başlamadan önce kesilecek numunenin yerleştirilmesi ve ön ayarların yapılması için makinenin manuel çalıştırılması gerekebilmektedir. Bu amaçla ara yüz yazılımına manuel kontrol penceresi ilave edilmiştir. Bu pencereye ana pencere üzerindeki “MANUEL” butonuna tıklanarak erişilmektedir. Aşağıda Resim 5.15’de manuel penceresi görülmektedir.



Resim 5.15. Manuel kontrol penceresi görünümü

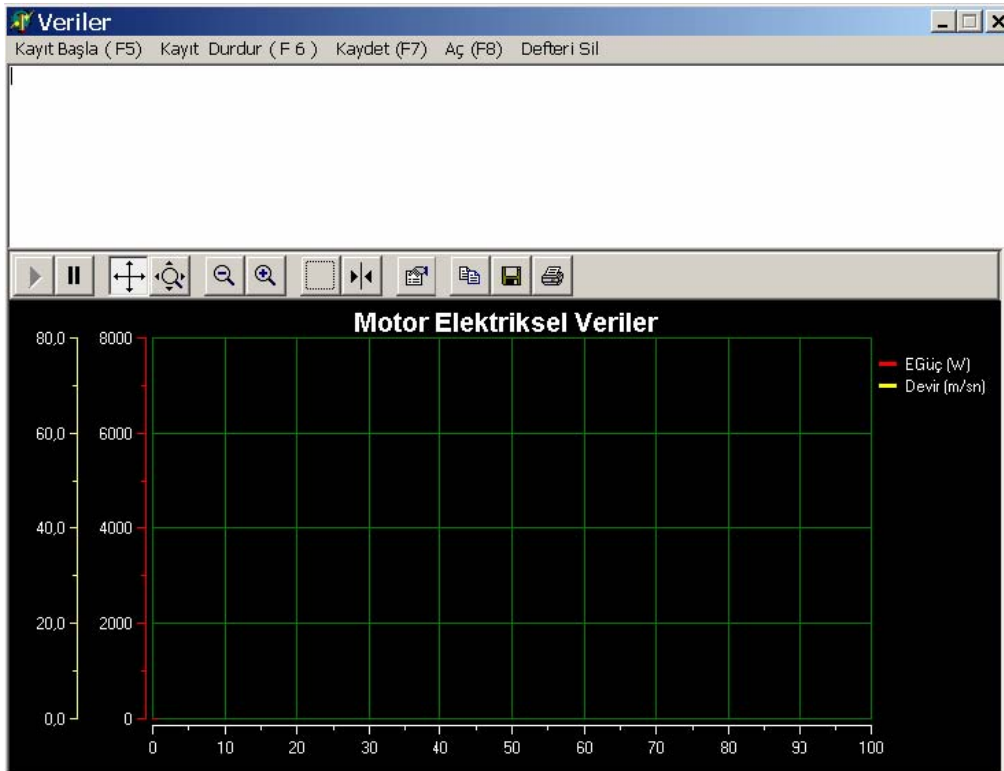
Makinenin manuel çalıştırılmasında tüm kontrol kullanıcıya aittir. Kullanıcı vagon ilerleme hızını ve yönünü, testerenin çevresel hızını ve testerenin düşey ve yatay pozisyonunu istediği gibi ayarlayabilmektedir. Bu ayarlamalar sırasında testere çevresel hızı, vagon ilerleme hızı ve testerenin düşey veya yatay pozisyonu değerleri gözlenebilmektedir. Ancak testere pozisyonu sadece testerenin öne ve aşağı hareket etmesi durumunda ölçülmektedir.

Deney numunesi yerleştirildikten sonra testerenin ve vagonun kesme süreci başlangıç pozisyonuna konumlanması gerekmektedir. Ara yüz yazılımında bu işlemi otomatik olarak gerçekleştirebilmek üzere “RESET” butonu bulunmaktadır. Buton tıklanıldığında testere öncelikle yukarı son pozisyonuna ardından da arka son pozisyonuna konumlandırılır. Testere başlangıç pozisyonuna konulandıktan sonra vagon 4m/dk hızla geriye son pozisyonuna konumlandırılır. Reset prosedürünün tamamında testere stop durumundadır. Ara yüz yazılımı makinenin düz kesme veya ters yönlü kesme çalışma durumlarında kesim yapabilmesi için tasarımılandırılmıştır. Eğer ana pencere üzerindeki “Ters Kesim” onay kutusu seçilmişse ters kesim geçerli olmakta ve makinenin başlangıç pozisyonuna konumlanma prosedürü de değişmektedir. Bu durumda “RESET” butonu tıklanırsa testere yine öncelikle yukarı son ardından da arka son pozisyonuna konumlandırılacaktır. Ancak vagon bu kez geriye değil ileri son pozisyonuna konumlandırılacaktır.

Reset işleminin yapılmasından sonra ara yüz yazılımına gerçekleştirilecek deneyle ilgili Testere Dönüş Hızı (V_{ϕ}), İlerleme Hızı (V_K), Kesme Derinliği (H_K), Testere çapı, Kesme genişliği (dilim kalınlığı), kesilecek kayaca ait bilgiler, değişken ve sabit alınacak parametreler gibi verilerin girilmesi gerekmektedir. Ara yüz yazılımında bu verilerin girileceği alanlar ve onay kutuları bulunmaktadır. Makine ile otomatik olarak peş peşe on kesme deneyi gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle ana pencere üzerinde testere dönüş hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametrelerinin her birine ait on farklı değer girilebileceği bir çizelge bulunmaktadır. Deneye başlamadan önce bu parametrelerden değişken olanına ait değerlerin girilmesi gerekmektedir. Ancak sonraki deneylerde diğer parametrelerin değişken alınabileceği düşünülürse çizelgenin tamamının doldurulması deneylerin gerçekleştirilmesinde pratiklik kazandıracaktır. Çizelge doldurulduktan sonra “Sabitler” kısmında verilen alanların doldurulması

gerekmektedir. Bu kısımda testere dönüş hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametrelerinin sabit değerlerinin girilebileceği alanlar bulunmaktadır. Bu alanlar doldurulduktan sonra hangi iki parametrenin sabit seçileceği parametrenin hizasındaki onay kutusu seçilerek belirlenmektedir. Ayrıca kullanılan testerenin çapı için veri giriş alanı bulunmaktadır. Bu alana testerenin [mm] cinsinden çapı girilmelidir. Önemli veri girişinden birisi de kesme genişliği veya bir başka ifadeyle dilim kalınlığıdır. Dilim kalınlığı testerenin yatay eksenindeki kesme konumları arasındaki uzaklığa karşılık gelmektedir. Dilim kalınlığı değeri testerenin kalınlığı ve numunenin genişliği göz önüne alınarak belirlenip giriş yapılmalıdır.

Deney verilerinin kaydedilmesi yapılacak analizlerin doğruluğu için büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla ara yüz yazılımında verilerin kaydı ve grafiklerle izlenebilmesi için bir alt pencere bulunmaktadır. Resim 5.16’da görülen söz konusu pencere ana pencere üzerindeki “VERİLER” butonu tıklandığında açılmaktadır.



Resim 5.16 Veri izleme ve kayıt penceresi

Veriler penceresi grafik alanı ve verilerin sayısal değerlerinin yazıldığı alan olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Grafik alanında toplanan verilerin zamana karşı grafikleri çizilip görsel olarak incelenebilmektedir. Sayısal verilerin gösterildiği alanda ise veri kayıt dosyasının içeriği görüntülenmektedir.

Kayıt Başla (F5) ve Kayıt Durdur (F6) seçenekleri ise verilerin kaydının başlangıç ve bitişini belirlemek için kullanılmaktadır. Vagonun ileri-geri hareketinin sınırları kayacın kesilen boyundan daha büyük olduğu ve sadece kesme süresince verilerin kaydedilmesi istendiği için testerenin kayaca ilk temas anı ile kayaçtan çıkma anının tespiti gerekmektedir. Deneyler tamamen otomatik gerçekleştirmekle birlikte veri kaydının başlangıç ve bitiş zamanlarının tayini kullanıcıya bırakılmıştır. Bu amaçla veri kaydı başlatma işlemi için “Kayıt Başla” seçeneği veya “F5” tuşu ve bitirme işlemi için “Kayıt Durdur” seçeneği veya “F6” tuşu görevlendirilmiştir.

“Defter Sil” seçeneği sayısal veri alanında bulunan verilerin silinmesi için kullanılmaktadır. Deneye başlamadan önce defterin silinmesi ve verilerin boş sayfaya alınması karışıklığa neden olunmaması için gereklidir.

5.2.2. Spesifik enerjinin hesaplanması

Doğal taş sektöründeki kesme verimliliğinde en önemli kriterlerden bir tanesi de Spesifik Enerji (SE) kavramıdır. Spesifik enerji; kayacın birim zamanda birim hacmini kesmek için gerekli enerji miktarını ifade eder ve;

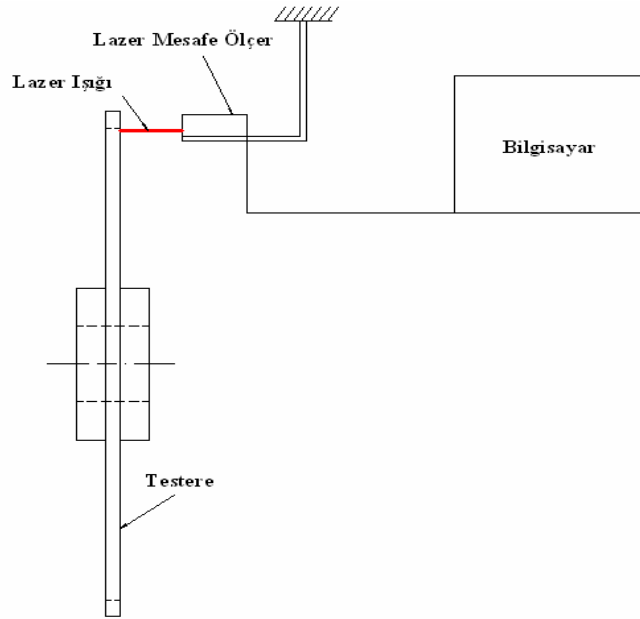
$$SE = \frac{Pt}{Qw} \quad (5.1)$$

şeklinde hesaplanır. Özellikle bu sektörde, birim zamanda yüksek üretim miktarlarının düşük enerji tüketimiyle gerçekleştirilmek istenmesi spesifik enerjiyi önemli kılmaktadır.

5.2.3. Diskte meydana gelen yanal deplasmanın ölçülmesi

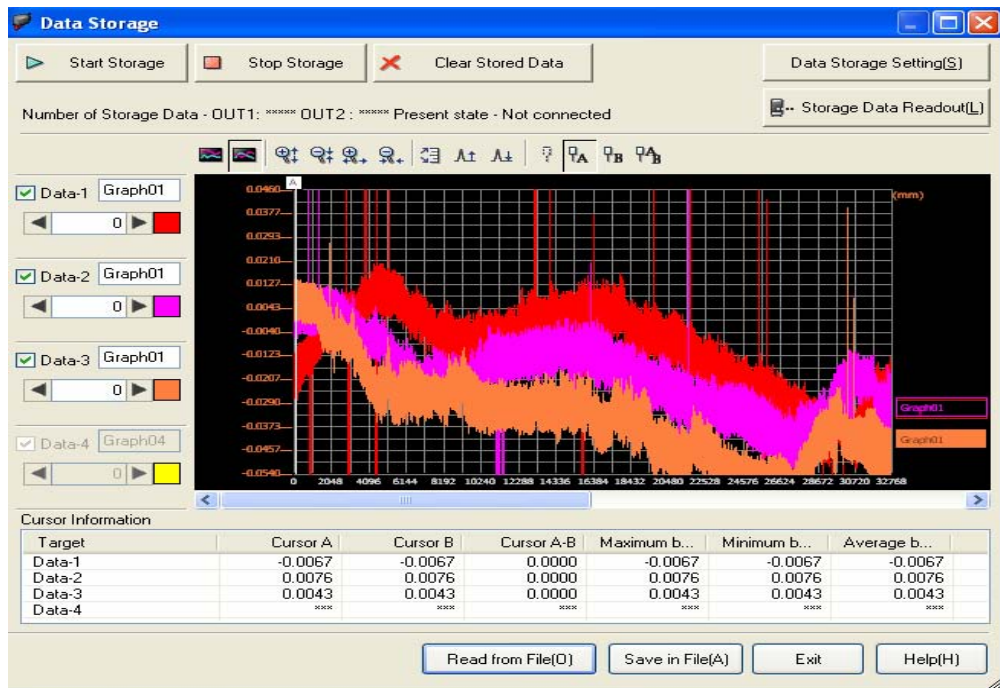
Yanal deplasman verileri kesme esnasında testerenin karşına yapılan bir düzenek üzerine monte edilen lazer deplasman ölçüm ünitesiyle elde edilmiştir. Saniyede 55000 veriyi 0,2µm hassasiyetinde alma özelliğindeki lazer ile testerenin soketlerinin başlangıç noktasından yani çelik gövdenin en uç noktasından veriler alınmıştır. Alınan veriler bilgisayarda işlenmiş ve deplasman değerleri farklı parametrelere göre

belirlenmiştir. Şekil 5.2’de testeredeki yanal sapmayı ölçmek için kullanılan düzenek verilmiştir.



Şekil 5.2 Testeredeki yanal sapmayı ölçmek için kullanılan düzeneğin şematik ifadesi

Lazer mesafe ölçer ile elde edilen verilerin programdaki görüntüsü Resim 5.17’de verilmiştir.



Resim 5.17 Lazer deplasman ölçüm ünitesinden alınan detay örneği

6. BULGULAR

Yapılan deneyler sonrasında kesme parametrelerinin kesme gücü, kesme kuvvetleri ve aşınma üzerindeki etkisi ayrı başlıklar altında ele alınmıştır. Çalışmada toplam 81 adet kesme deneyi yapılmış ve 5400000 adet veri elde edilmiştir. Elde edilen verilerin çokluğu ve değerlendirme kolaylığı sağlaması açısından birbiri ile ilişkili datalar birleştirilerek aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Çalışmanın bulgular kısmı temelde iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda standart kesme işleminde elde edilen veriler(kesme için gerekli güç, spesifik enerji, kesme kuvvetleri ve soket aşınması) değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise kesme parametrelerinin testerenin yanal sapma miktarı üzerindeki etkisi ele alınmıştır.

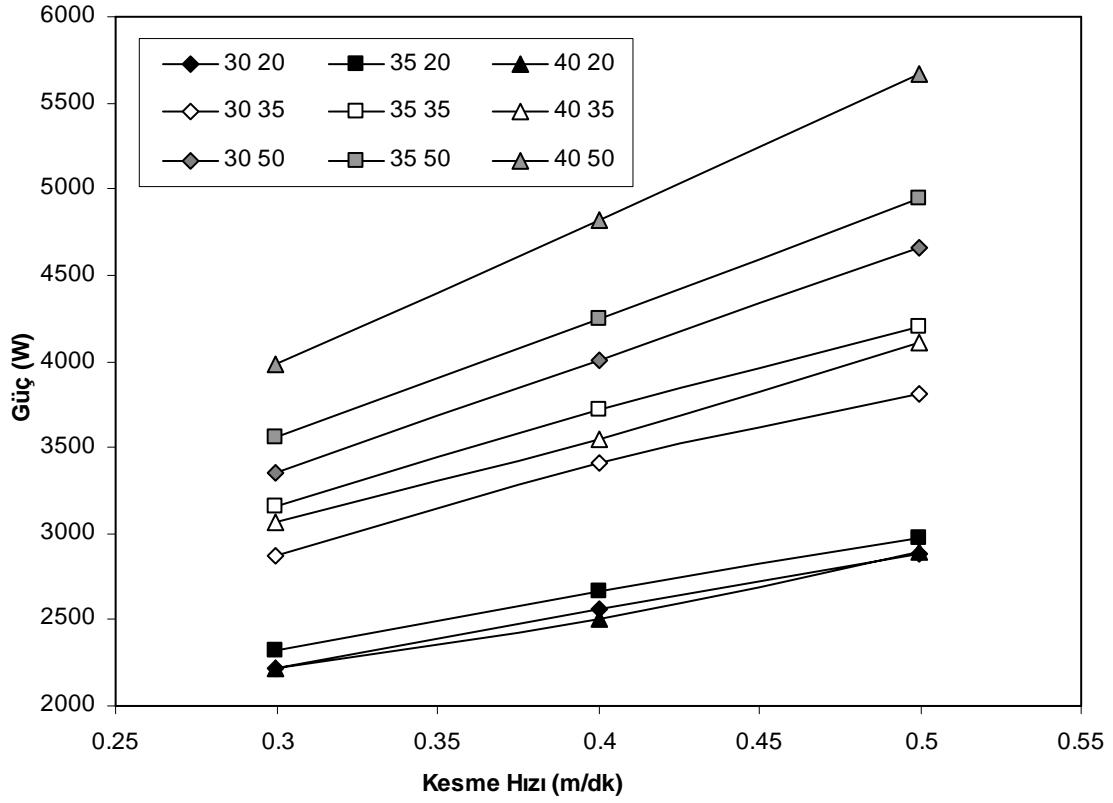
6.1 Kesme parametrelerine bağlı olarak gücün değişimi

Mermer kesme endüstrisinde harcanan güç tüketilen elektrik enerjisi ile doğru orantılıdır. Dolayısı ile kesme esnasında harcanılan gücün artması üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle testere ve soket türü önemli olduğu kadar kesme parametreleri de büyük önem arz etmektedir. Şekil 6.1’de deneysel çalışma kapsamında elde edilen güç değerlerinin kesme hızına, çevresel hıza ve kesme derinliğine bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Şekil 6.1’den de anlaşıldığı üzere artan kesme hızına bağlı olarak kesme için gerekli olan güç miktarı da lineer olarak artmaktadır. Bu durum bütün çevresel hızlar için geçerlidir. Kesme hızının artması bir anlamda birim zamanda kesilen mermer hacminin artması demektir. Böylece artan kesme hızıyla testerenin birim zamanda kesmesi gereken mermer hacmi artmakta, dolayısıyla kesme gücünde artmaktadır.

Şekil 6.1’de dikkati çeken bir diğer unsur da kesme derinliğinin etkisidir. Dikkat edilecek olursa düşük kesme derinliğinde (Hk=20mm) artan çevresel hız harcanan gücün artışına çok katkıda bulunmamaktadır. Oysaki yüksek kesme derinliğinde (Hk=50mm) artan çevresel hız kesme için gerekli olan gücü ciddi oranda etkilemektedir. Örneğin Hk=20mm için elde edilen verilerde minimum çevresel hız ile maksimum çevresel hız arasındaki harcanan güç miktarı % 4,9 artmaktadır. Buna

karşın, Hk=50mm için çevresel hızın 30m/sn'den 50m/sn'ye artırılması gücün %19,3 artmasına neden olmaktadır. Buradan elde edilen sonuçlara göre; mermer kesme işleminde maksimum üretim yüksek kesme derinliği için düşük çevresel hızın seçilmesi enerji sarfiyatını azaltacaktır.

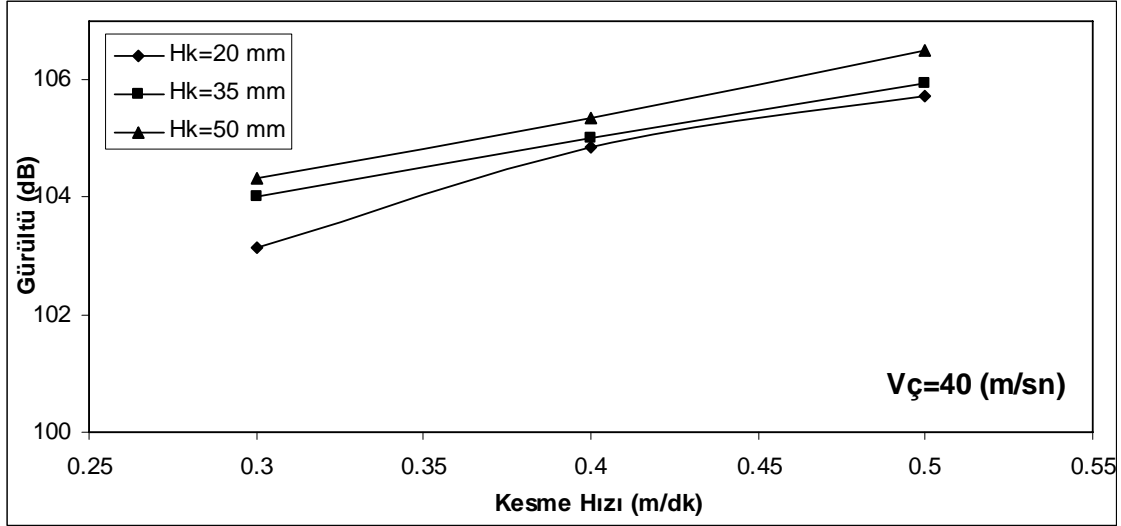


Şekil 6.1 Kesme hızına, kesme derinliğine ve çevresel hıza bağlı olarak gücün değişimi

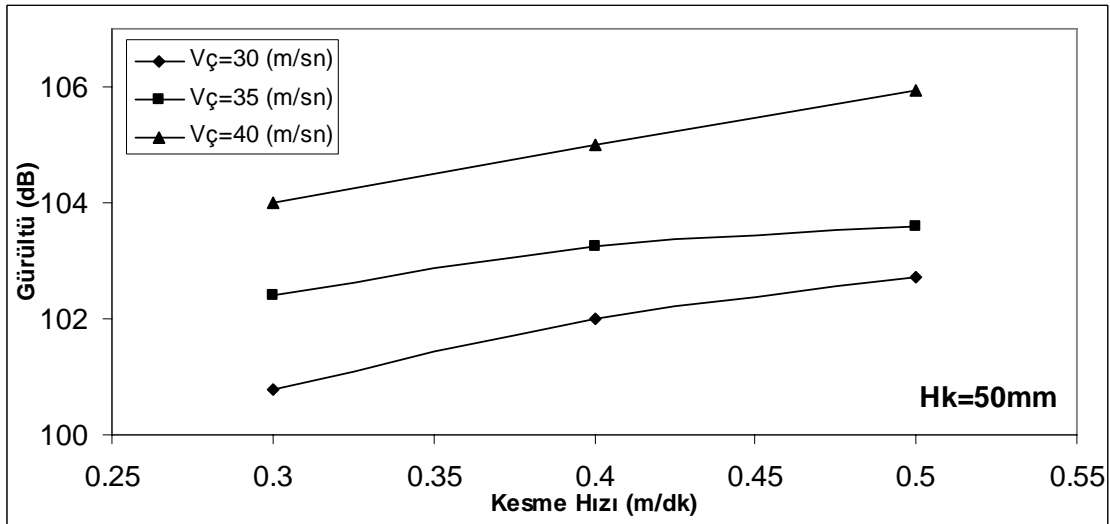
6.2 Kesme parametrelerine bağlı olarak gürültünün değişimi

Güçte olduğu gibi burada da aynı keme parametre değerleri kullanılarak yapılan deneylerde kesme derinliği, kesme hızı ve çevresel hızın artışı ile mermerin kesimi esnasında oluşan gürültü de artmıştır. Değerlere bakılarak kesme derinliğinin artışının gürültüyü kesme hızı ve çevresel hızdaki artış kadar etkilemediği görülmektedir (Şekil 6.2. ve Şekil 6.3.). Ancak mermerin kesimi esnasında ortamdaki en düşük gürültü seviyesi 100 dB olmuştur. İşçi sağlığı ve iş 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 ile ilgilidir. Testere gövdesinin çelik veya

kompozit olması gürültü seviyesini etkileyebileceğinden yola çıkılarak, sandviç şeklinde özel imal edilmiş testere gövdeleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu testereler genellikle ortada bakır, alt ve üst yüzeyleri çelik olmak suretiyle preslenerek imal edilmektedir.



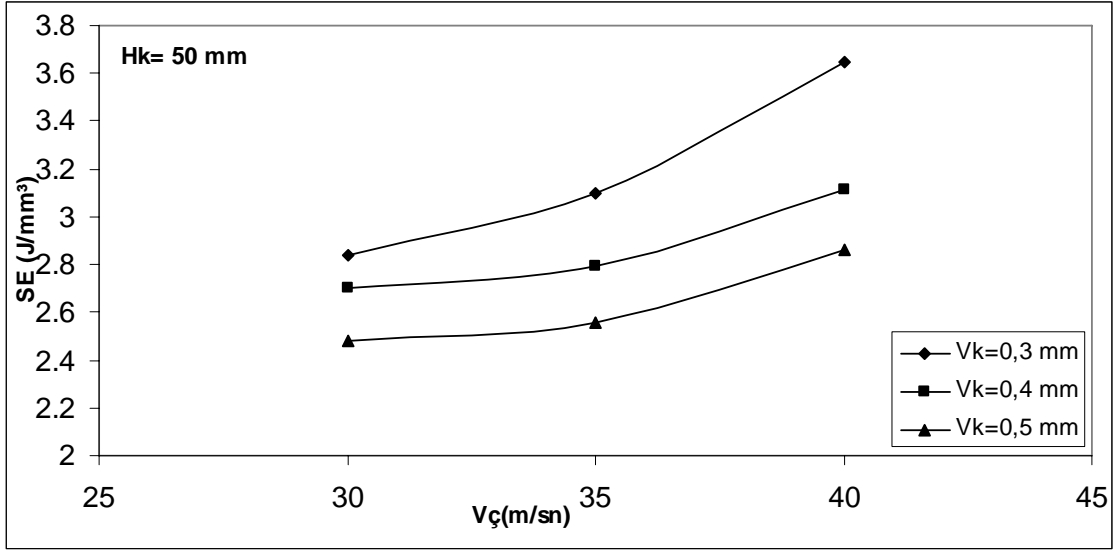
Şekil 6.2 Kesme hızının ve kesme derinliğinin gürültü üzerindeki etkisi



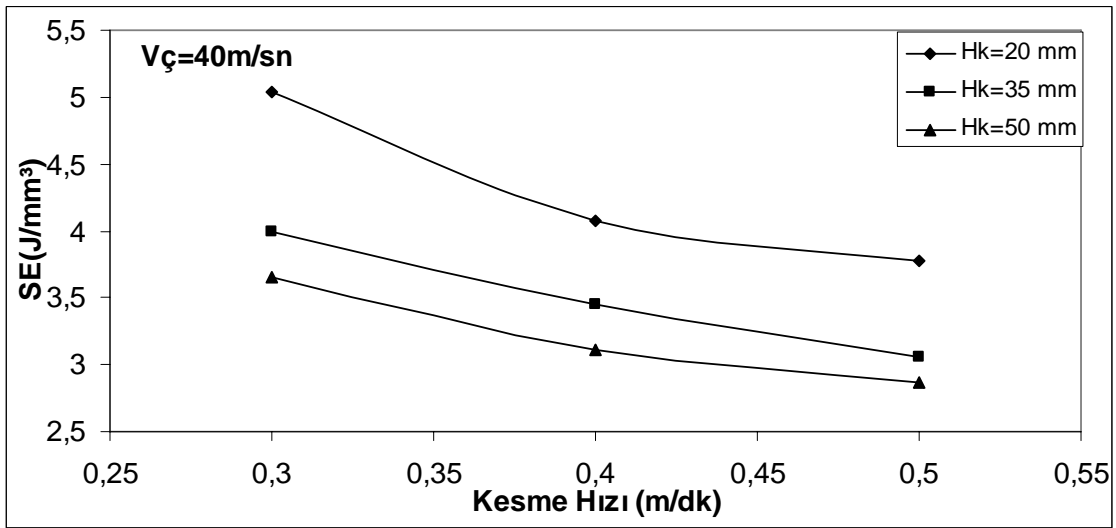
Şekil 6.3. Kesme hızı ve çevresel hızın gürültü üzerindeki etkisi

6.3 Kesme parametrelerine bağı olarak SE değişimi

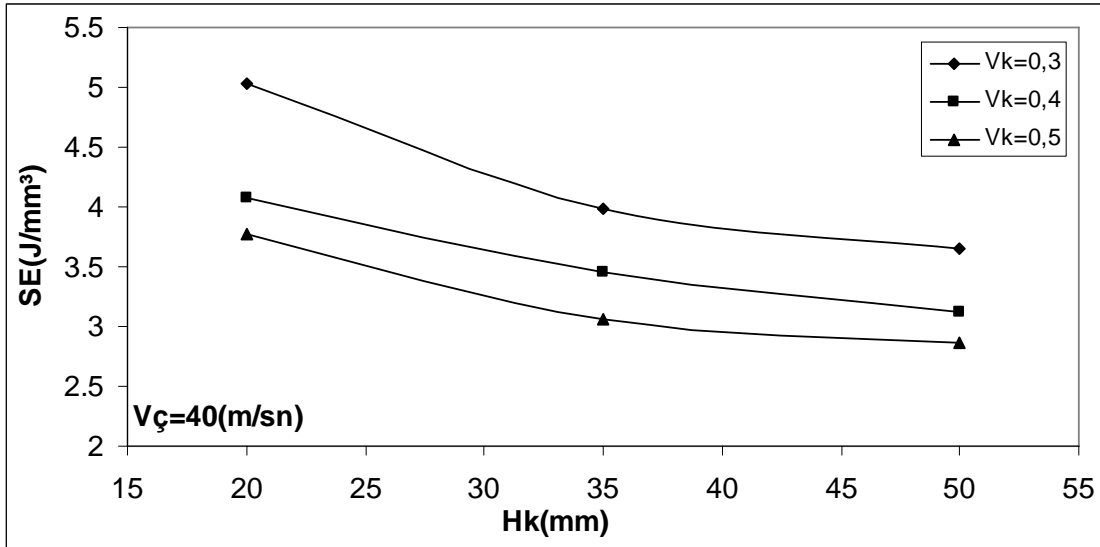
Şekil 6.4 ile 6.5 beraber değerlendirildiğinde, çevresel hızın artması SE'yi kesme derinliği kadar etkilemediği görülmektedir. Çevresel hızın $V_{\text{ç}}=30\text{m/sn}$ 'den 40m/sn 'ye artması SE'yi % 9 kadar artmasına neden olurken, kesme derinliğinin $H_k=35\text{mm}$ 'den 50mm 'ye artması SE'yi % 32 artırmaktadır. Bununla birlikte $V_{\text{ç}}=35\text{m/sn}$ 'nin üzerindeki çevresel hızda SE'nin artışı artan parabolik olarak gerçekleşmektedir (Şekil 6.6). Oysaki $V_{\text{ç}}=30\text{m/sn}$ ve 35m/sn arasındaki SE'nin artışı oldukça küçük düzeyde gerçekleşmiştir.



Şekil 6.4. Kesme hızının ve çevresel hızın SE üzerindeki etkisi



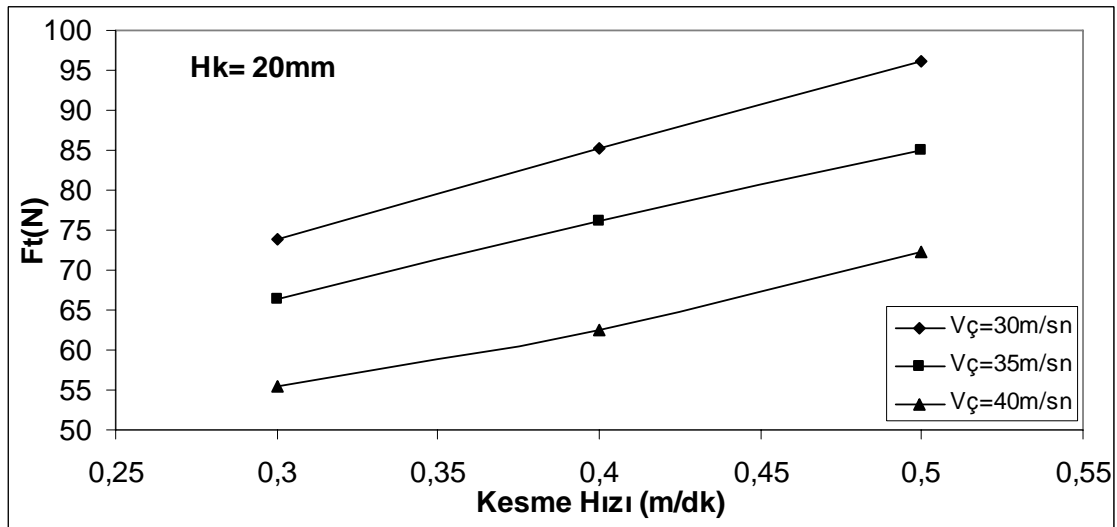
Şekil 6.5. Kesme hızının ve kesme derinliğinin SE üzerindeki etkisi



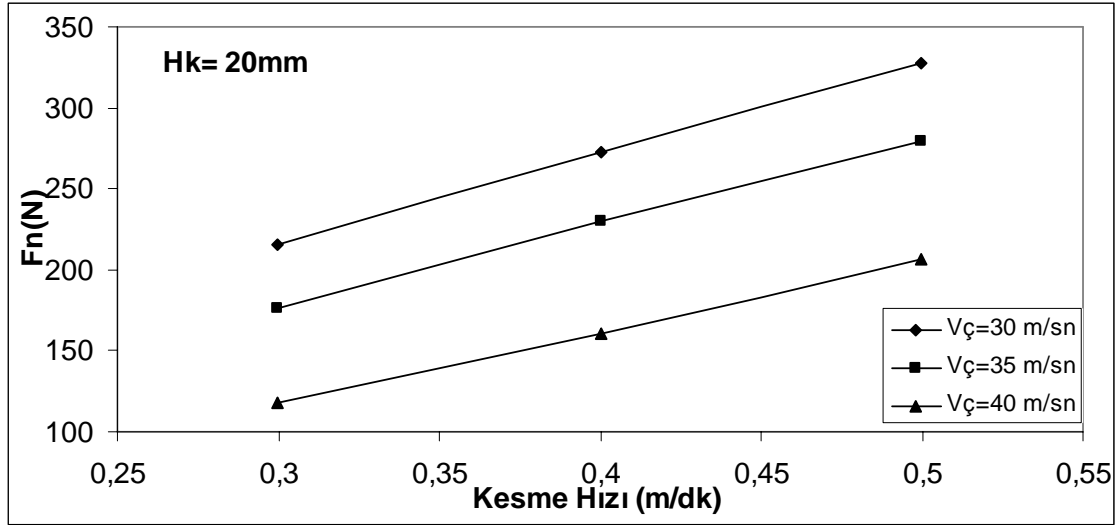
Şekil 6.6. Çevresel hızın ve kesme derinliğinin değişiminin SE'ye etkisi

6.4 Kesme parametrelerine bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi

Mermer kesme deneylerinde, meydana gelen iki tepki kuvvetinden (F_x , F_y) yola çıkarak teğetsel (F_t) ve normal (F_n) kesme kuvveti hesaplanmıştır. Şekil 6.7'de F_t kuvvetinin kesme hızı ve çevresel hıza bağlı olarak değişimi verilmiştir. Bununla birlikte F_n kuvvetinin değişimi de Şekil 6.8'de verilmektedir. Şekil 6.7 ve 6.8'de de görüldüğü üzere artan kesme hızı her iki kuvvetinde lineer olarak artmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte testerenin çevresel hızının da artması hem F_t 'yi hem de F_n 'yi aynı oranda arttırmaktadır.

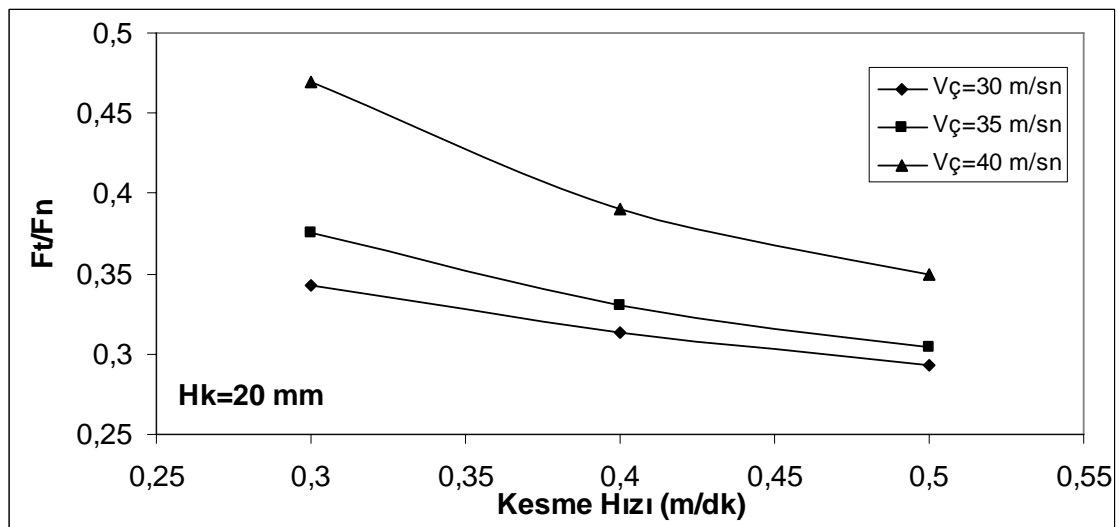


Şekil 6.7. Kesme hızı ve çevresel hızın Ft üzerindeki etkisi



Şekil 6.8. Kesme hızı ve çevresel hızın Fn üzerindeki etkisi

Sağlıklı kesme koşullarında dikkate alınan bir husus ise; kesme kuvvetleri oranı (F_t/F_n) olup, genellikle bu tür kayalarda kesme hızına, talaş derinliğine ve çevresel hıza bağlı olarak, 0.3 ile 0.6 arasında değişmektedir. (Xu, Li, and Yu; 2003). Bu oranın düşük çıkması (yani FN kuvvetinin aşırı artışı) testerenin kayaç içinde yeterince kesme derinliğini koruyamadığını ifade ederken, oranın artmasında ise kesimin daha kolay gerçekleştiğini ifade etmektedir. Şekil 6.9'dan da anlaşılacağı üzere kesme hızının artışı ile kesme zorluğu artmıştır. Çevresel hızın artışı ile ise kesme işlemi daha kolay yapılmıştır.



Şekil 6.9. Kesme hızı ve çevresel hızın Ft/Fn üzerindeki etkisi

6.5 Kesme parametrelerinin soket aşınması üzerindeki etkisi

Aşınma deneyleri öncesinde testerenin çap ölçüsü aşınma ölçümleri için referans olarak alınmıştır. Daha sonra aşınma deneyleri yapılmış ve testere çapında meydana gelen küçülme (bir anlamda soket aşınması) referans değerden çıkarılmıştır. Böylece her 3 deney sonunda meydana gelen soket aşınması tespit edilmiş oldu. Çankırı Kahverengi mermer için yapılan deneylerde kesme hızına ve kesme derinliğine bağlı olarak aşınmanın değişimi Şekil 6.10'da verilmiştir. Şekil 6.10'da dikkati çeken ilk unsur; kesme derinliğinin soket aşınması üzerindeki etkisinin kesme hızının etkisinden daha belirleyici olmasıdır. Çünkü kesme hızı 0,3m/dk'dan 0,5m/dk'ya çıkmasıyla meydana gelen soket aşınması yaklaşık 0,025mm civarındadır. Oysaki kesme derinliğinin $H_k=20\text{mm}$ 'den 35mm'ye artmasıyla meydana gelen soket aşınması yaklaşık 0,034mm'dir. Bununda temel nedeni; artan kesme derinliği ile birlikte soket-mermer temas boyunun da artmasıdır (Şekil 6.11). Bu artan boya bağlı olarak yüzeye etkileyen sürtünme kuvvetleri de artacaktır. Bunun sonucu olarak ta sokette meydana gelen aşınma artacaktır. Şekil 6.11'de görülen kesme derinliği H_k artırıldıkça temas yüzeyinin açısı α 'da artmaktadır. Testerenin çapına ve kesme derinliğine bağlı olarak değişen α açısı;

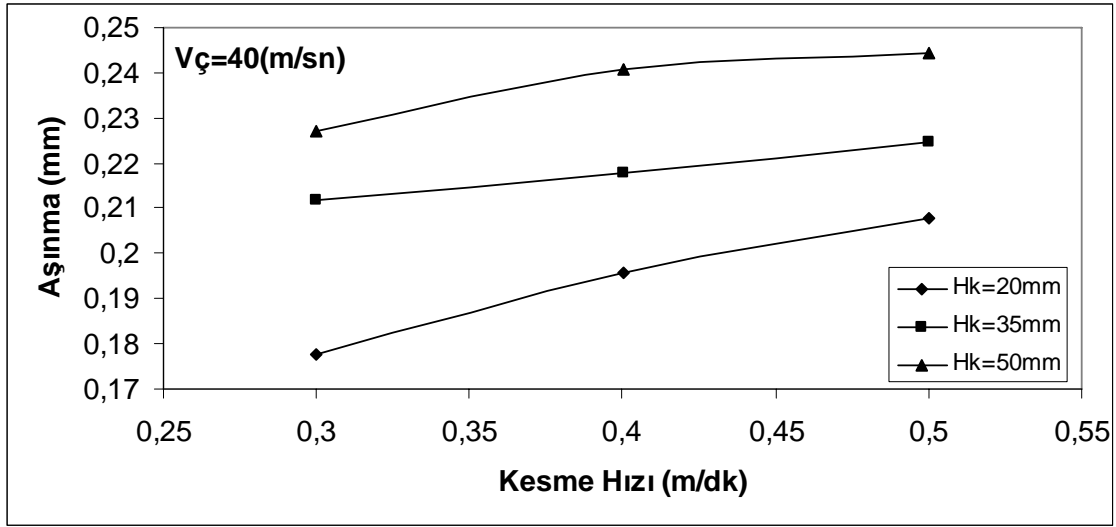
$$y^2 = r^2 - (r - H_k)^2 \quad (6.1)$$

$$\sin \alpha = \frac{y}{r} \quad (6.2)$$

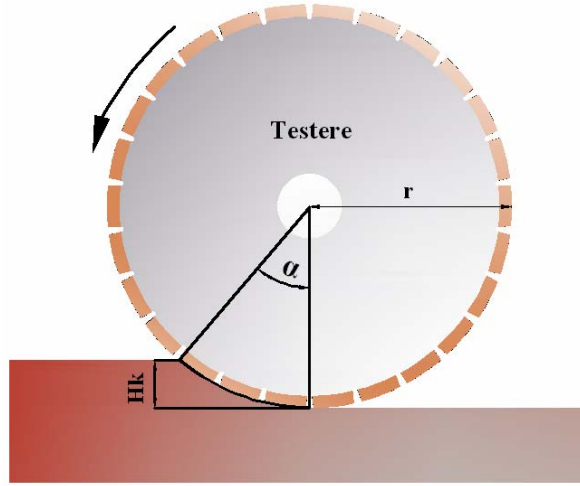
α açısına bağlı olarak testere ile kayaç arasında görülen temas uzunluğu ise;

$$L = \frac{2\pi r \alpha}{360} \quad (6.3)$$

şeklinde ifade edilir. Bulunan α açısı ile testerenin çapı orantılandırılarak testere ile mermer arasındaki temas uzunluğu bulunmuştur. İfadeden de anlaşılacağı üzere temas uzunluğunu etkileyen temel faktörler testere çapı ve kesme derinliğidir.

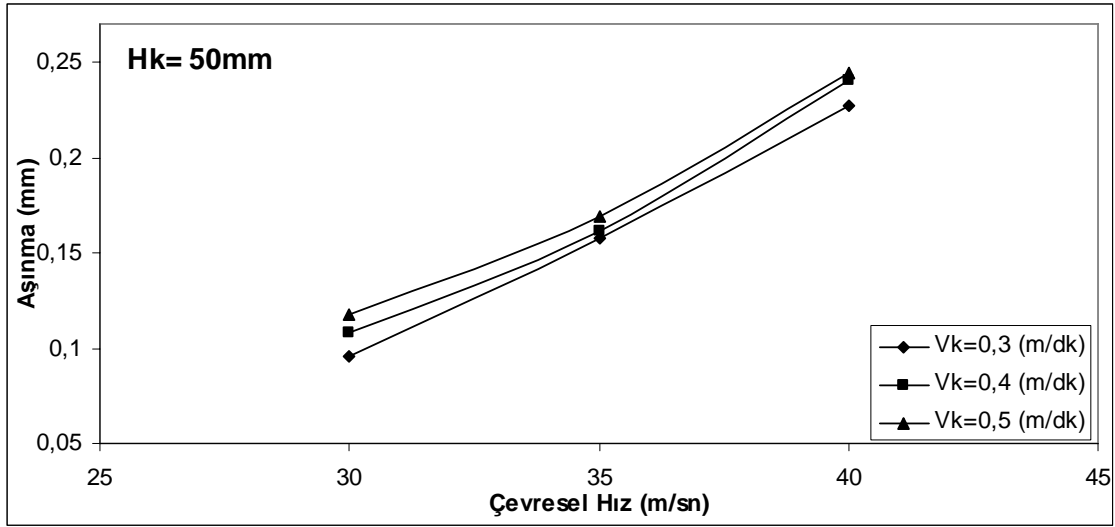


Şekil 6.10. Kesme hızı ve kesme derinliğinin soket aşınması üzerindeki etkisi



Şekil 6.11. Kesme işleminde mermer ile testerenin temas uzunluğu

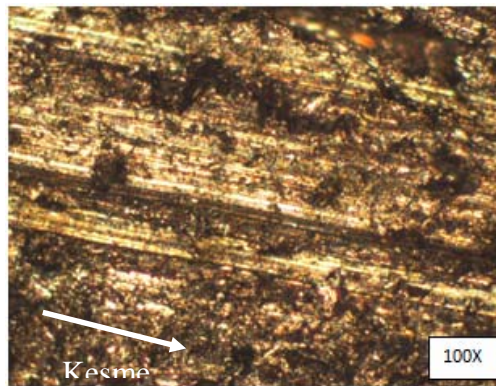
Şekil 6.10 ve 6.12 beraber incelendiğinde, kesme hızı V_k 'nın değişiminin soket aşınmasını ciddi oranda etkilemediği rahatlıkla görülmektedir. Buna karşın çevresel hız ve kesme derinliği soket aşınmasına etkiyen iki temel kesme parametresi olduğu buradan çıkarılabilecek bir diğer önemli sonuçtur. Özellikle çevresel hızın artması soket aşınmasını iki kata kadar artırabilmektedir. Bunun nedeni olarak ta testere devrinin artması ile soketler üzerindeki elmasların testerenin her bir devrinde mermere yüksek devir nedeniyle daha hızlı çarpması ve elmasların dökülmesi söylenebilir. Ayrıca testere ile mermer çevresel hızın artması ile daha fazla etkileşime girmektedir. Tüm bunların neticesinde çevresel hızın soket aşınmasında nedenli etkin bir faktör olduğu söylenebilir.



Şekil 6.12 Çevresel hızın ve kesme hızının soket aşınması üzerindeki etkisi

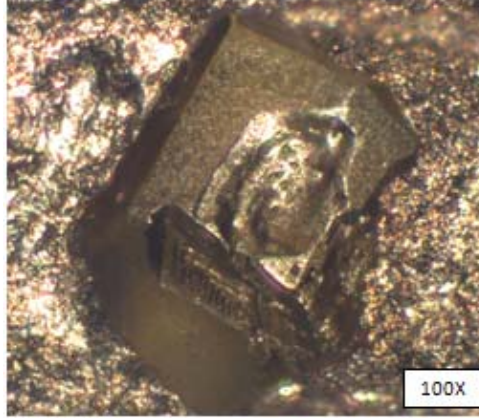
6.6 Aşınan Soket Yüzeylerinin Mikroskopik Özellikleri

Çankırı Kahverengi mermerinin kesilmesi esnasında kesme kuvvetleri ve aşınma ölçümlerinden sonra soket yüzeyi ve elmas tanecikleri mikroskopik olarak incelenmiştir. Bu ön inceleme ile kesme esnasında ne gibi aşınma hasarların meydana geldiğini tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu incelemeler sonucunda, elmas soketlerde ve özellikle elmas taneciklerinde aşınmaya bağlı olarak hasarların olduğu görülmüştür. Elmas soketlerde genellikle kesme etkisiyle birlikte abrasiv aşınma türü görülmektedir. Bu aşınma, sürtünme etkisi ile yüzeyden parçacıklar kopma şeklinde meydana gelmiştir. Resim 6.1.'de sokette meydana gelen abrasiv aşınmaya bir örnek gösterilmiştir. Burada, özellikle kesme yönleri belirgin bir şekilde fark edilmektedir.



Resim 6.1. Soket yüzeyinde meydana gelen abrasiv aşınmaya bir örnek

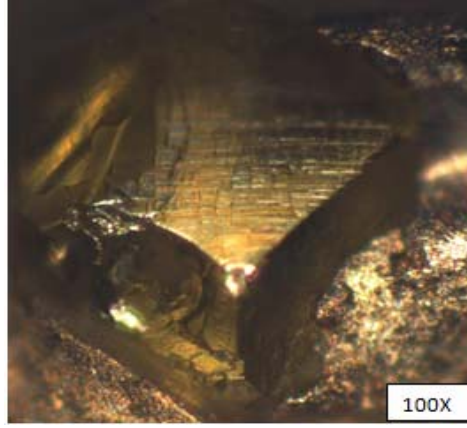
Kayaç kesme işleminde elmas soketlerde meydana gelen hasarlar genellikle kesme parametrelerine, elmas taneciğinin boyutuna ve kayacın yapısına bağlı olarak değişmektedir. Kesme kuvvetlerinin etkisiyle yüzeyden mikro parçacıklar kopabilmektedir. Bu parçacıklar mikro tanecik kopması (micro chipping) olarak ta tanımlanmaktadır. Resim 6.2.'de elmas soket yüzeyinde görülen mikro tanecik kopması gösterilmiştir.



Resim 6.2.Hasara uğramış elmas tanecik yüzüğü

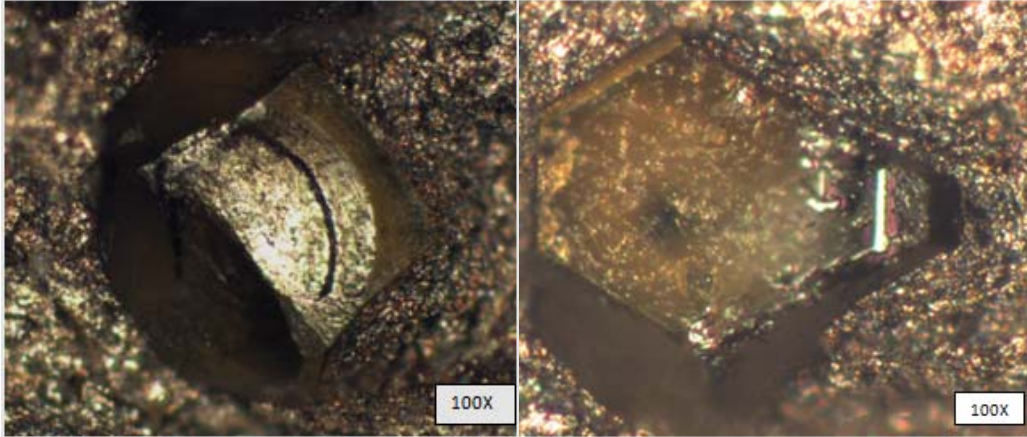
Resim 6.3.'de elmas tanecik kırılmaları gösterilmiştir. Elmas tanecik kırılmalarında iki önemli husus ön plana çıkmaktadır. Bunlar; elmas taneciğinin matriksten yüksek kısmının şok yüklerin etkisiyle kırılması, diğeri ise; kesme esnasında matriksin aşınmasıyla birlikte elmas taneciği yüzeye daha çok çıkmakta ve tanecik daha büyük kesme kuvvetlerine maruz kalmasıdır. Bununla birlikte elmas taneciği ile matriks arasındaki bağ çok kuvvetli olduğu zaman, elmas taneciği matristen ayrılamamakta ve kırılabilmektedir.

Diğeri yandan, kesme esnasında elmas soketin kayaca ilk temas anı çok önemlidir. Bu durumda elmas tanecik yüzeylerinde büyük şok kuvvetler meydana gelmektedir. Bu kuvvetler elmas tanecik kırılmasına önemli katkı sağlamaktadır. Bu durumda ilerleme değerinin mümkün olduğu kadar optimum değerlerde kalması gerekmektedir. İlerleme değerinin artışı ile elmas tanecik kırılmaları meydana gelebilmektedir. Tüm bunlara ilave olarak, homojen olmayan kayacın sertliğinin ani olarak değişmesi de elmas tanecik kırılmasına yol açabilmektedir.



Resim 6.3. Yüzeyi kırılmış elmas tanecikleri

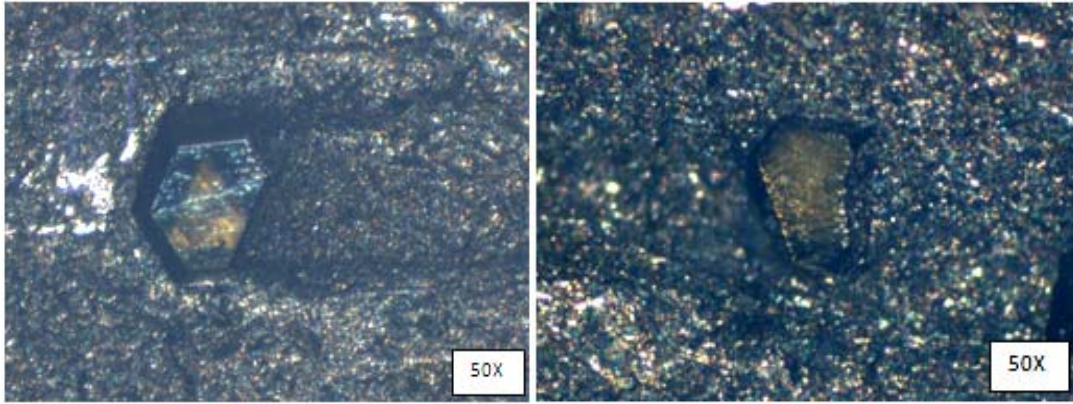
Kesme işlemleri sonrasında yapılan mikroskop analizleri, elmas taneciklerinde kırılma hasarlarına ilave olarak aşınmanın da meydana geldiğini göstermiştir. Resim 6.4.'de aşınmış elmas taneciklerine örnek fotoğraflar verilmiştir. Bu elmas taneciklerde düzenli abrasive aşınma türü görülmüştür. Aşınmayla birlikte elmas tanecikleri kesme görevini yerine getirmekte zorlanmaktadır. Kesme görevini yerine getiremeyen elmas taneciği daha fazla zorlanmakta ve sürtünme kuvvetleri artmaktadır. Bu durumda matris, elmas taneciğini tamamen bırakması ve yeni elmas taneciğinin yüzeye çıkmasına imkan tanınmalıdır.



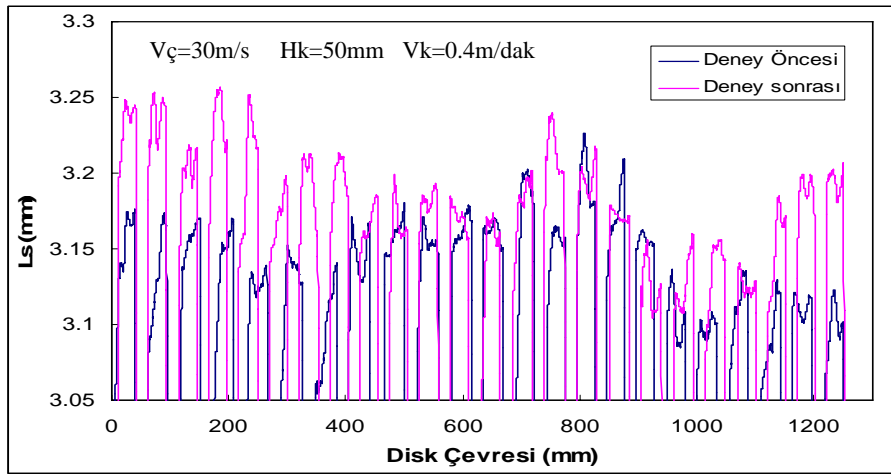
Resim 6.4. Aşınmış elmas tanecikleri.

Elmas taneciğinin görevini yerine getirmeden yani ömrünü tamamlamadan matrisden ayrılması (Pull out) istenmeyen bir durumdur. Bu durum, matrisin elmas taneciklerini tutma kabiliyetinin ne kadar zayıf olduğunu gösterir. Soket matrisinin zayıf olması, içersine katılan elementlere ve kalitesine, sinterleme koşullarına ve sinterleme esnasında yüzeyde oluşan oksitlere bağlıdır. Resim 6.5.'de elmas soket yüzeyindeki tanecik

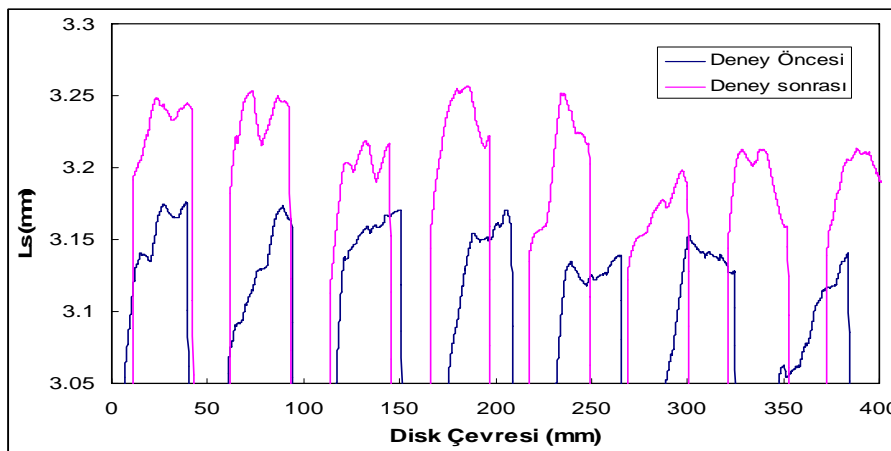
dökülmesine örnekler verilmiştir. Deneyler sonunda yapılan mikroskop incelemeleri, sokette çok fazla elmas tanecik dökülmesinin meydana gelmediğini göstermiştir. Şekil 6.13 ve 6.14’de soketlerdeki aşınma açıkça görülmektedir.



Resim 6.5. Elmas tanecik dökülmesi (Pull out).



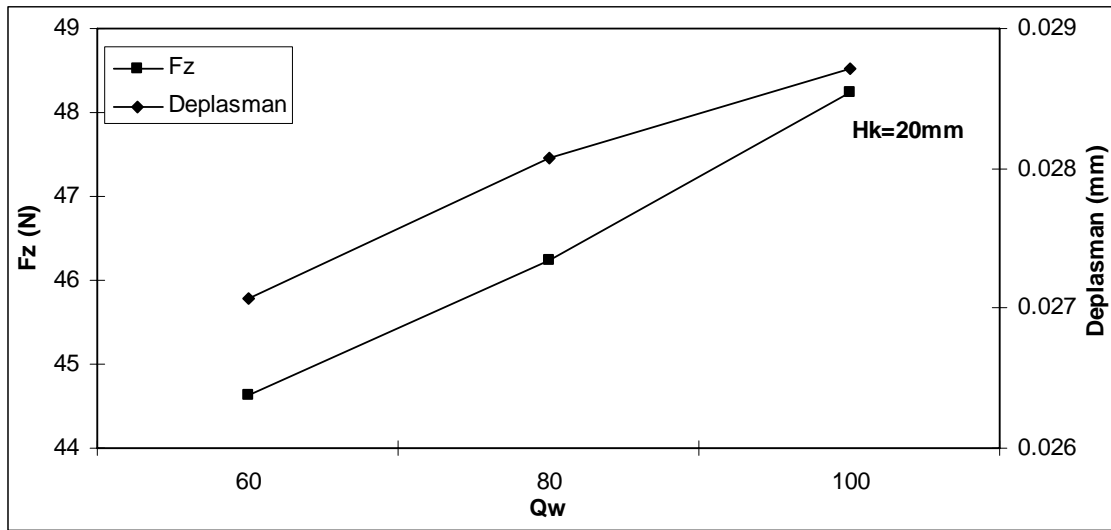
Şekil 6.13. Deney öncesi ve sonrası disk çevresindeki soketlerde meydana gelen aşınma.



Şekil 6.14. $V_{\dot{c}}= 30$ m/sn kesme hızı = 0,4 m/dak ve $H_k= 50$ mm için Şekil 3’te verilen grafiğin daha dar bir çevrede gösterimi.

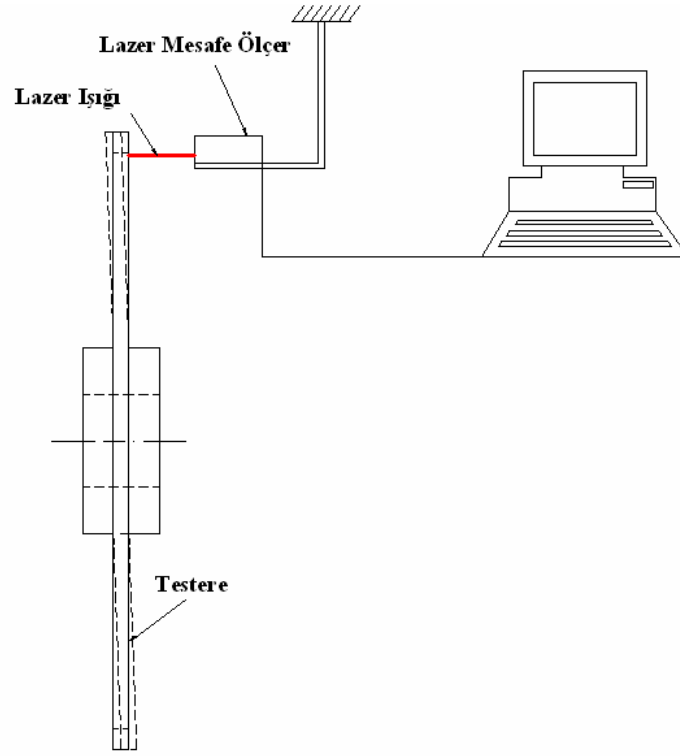
6.7 Kesme parametrelerinin testerenin yanal sapması üzerindeki etkisi

Her deney esnasında testerenin karşısına yerleştirilen Keyence marka lazer deplasman ölçer testerenin yanal deplasmanını, mermerin altındaki dinamometre ise kesim anında mermerdeki deplasmanı Fz kuvveti olarak ölçülmüştür. birim zamanda kesilen mermer hacmi, çevresel hız ve kesme derinliğinin testerenin sapması üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Şekil 6.15’de 20mm kesme derinliğinde farklı Qw değerlerinde oluşan sapmalar görülmektedir. Şekil 6.15-17-18-19- 20’de testerenin yanal sapması ile mermerin sapması Qw’nin artması ile birlikte artmıştır. Şekil 6.13-14-15 birlikte incelendiğinde sabit derinlikte kesme derinliğinin artırılmasının testere ve mermerin üzerine gelen kuvvetlerin ve temas alanının artması ile birlikte daha fazla titredığı söylenebilir.

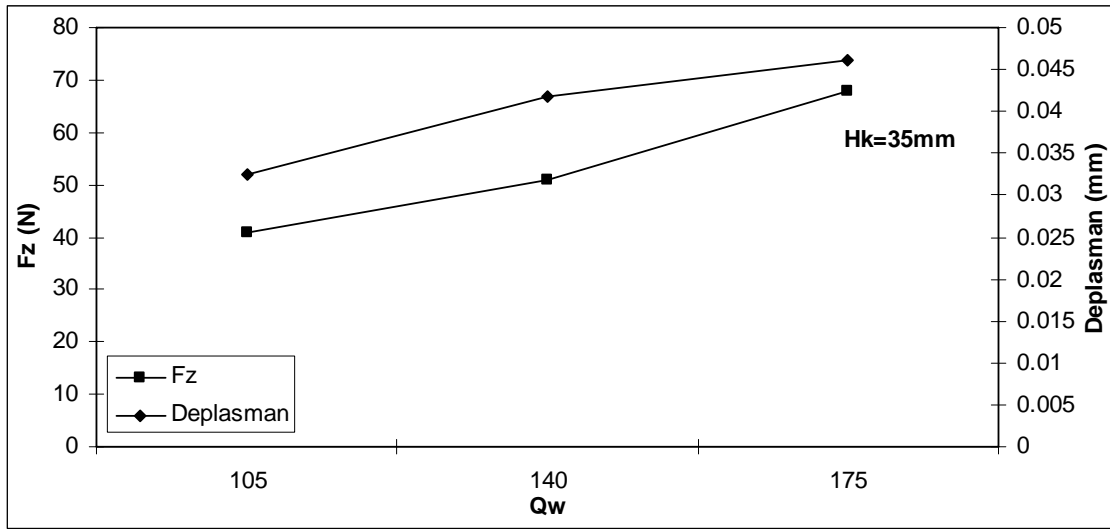


Şekil 6.15. Qw değişiminin Fz ve Testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi (Hk=20mm Vç=30m/sn)

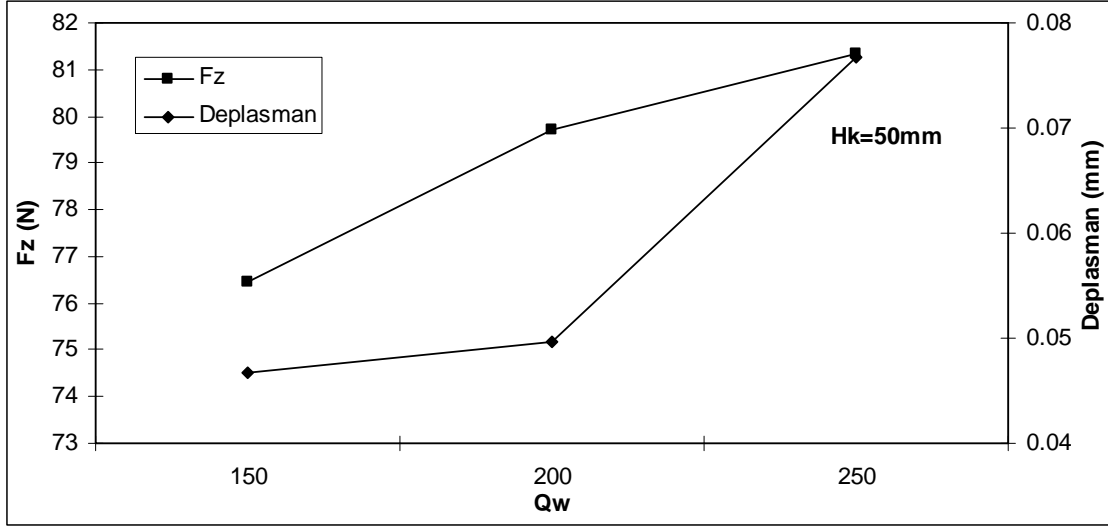
Şekil 6.16’da da testerenin yanal sapması ve bu sapmanın tespiti için kurulan düzeneğin şeması verilmiştir.



Şekil 6.16. Testeredeki yanal sapmanın tespiti

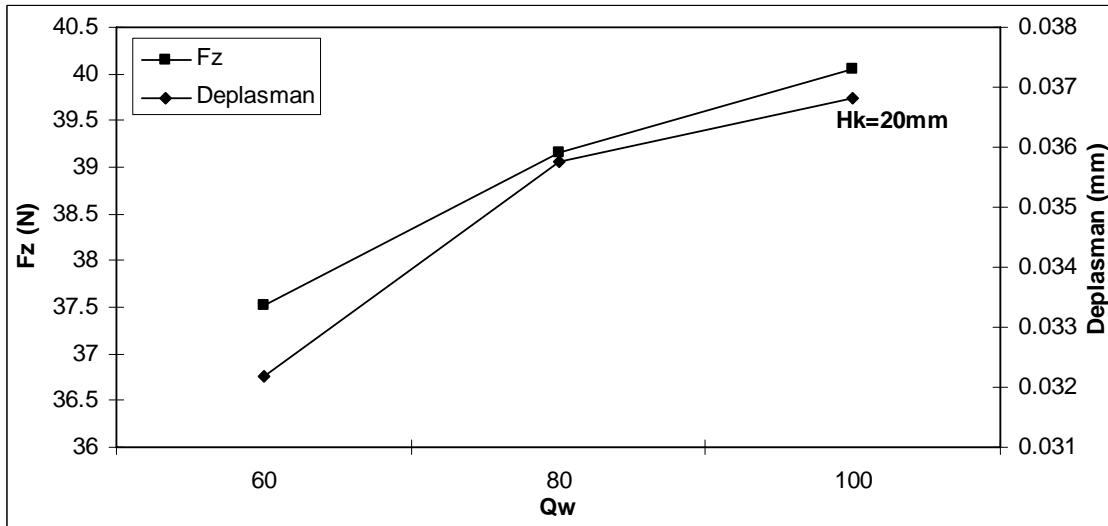


Şekil 6.17. Q_w değişiminin F_z ve testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi ($H_k=35\text{mm}$ $V_c=30\text{m/sn}$)

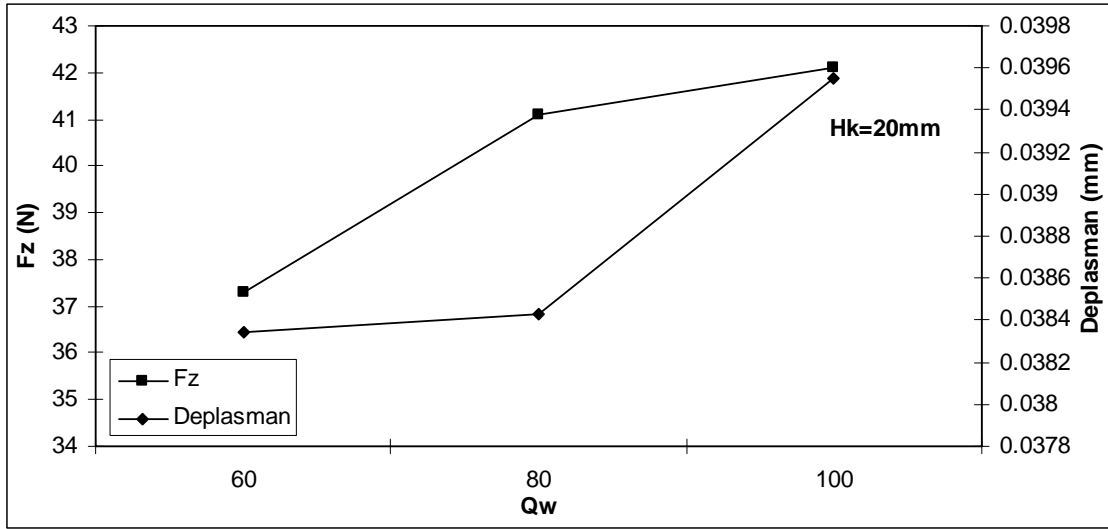


Şekil 6.18 Qw değişiminin Fz ve testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi (Hk=50mm Vç=30m/sn)

Şekil 6.15 ile şekil 6.19ve şekil 6.20 birlikte incelendiğinde 20mm kesme derinliğinde aynı Qw değerleri ile yapılan deneylerde testerenin çevresel hızının artması ile birlikte testere oluşan sapmanın ve Fz kuvvetinin düştüğü görülmektedir. Yapılan deneylerde çevresel hızın artmasının testerenin yanal deplasman değerini düşürdüğü ancak tekrar sayısını arttırdığı görülmüştür.



Şekil 6.19. Qw değişiminin Fz ve testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi (Hk=20mm Vç=35m/sn)



Şekil 6.20. Qw değışiminin Fz ve testerenin yanal deplasmanı üzerindeki etkisi
(Hk=20mm Vç=40m/sn)

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada mermer endüstrisinde oldukça fazla kullanım alanı olan dairesel elmas testerelerle 81 adet mermer kesme deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucunda oluşan F_x , F_y , F_z , F_t , F_n , SE, harcanan enerji, soket aşınması, testerenin yanal deplasman değerleri elde edilmiştir.

Artan kesme hızına ve çevresel hıza bağlı olarak kesme için gerekli olan güç miktarı da lineer olarak arttığı görülmüştür. Düşük kesme derinliğinde artan çevresel hız harcanan gücün artışına önemli oranda artmasına neden olmaktadır. Oysaki yüksek kesme derinliğinde artan çevresel hız kesme için gerekli olan gücü ciddi oranda etkilememektedir. Örneğin $H_k=20\text{mm}$ için elde edilen verilerde minimum çevresel hız ile maksimum çevresel hız arasındaki harcanan güç miktarı % 4,9 artmaktadır. Buna karşın, $H_k=50\text{mm}$ için çevresel hızın 30m/sn 'den 50m/sn 'ye artırılması gücün %19,3 artmasına neden olmaktadır. Tüm bu veriler ışığında mermer kesme işleminde maksimum üretim yüksek kesme derinliği için düşük çevresel hızın seçilmesinin enerji sarfiyatını azaltmıştır.

Kesme derinliği, kesme hızı ve çevresel hızın artışı ile mermerin kesimi esnasında oluşan gürültüde artmıştır. Yapılan deneyler neticesinde kesme derinliğinin artışının gürültüyü kesme hızı ve çevresel hızdaki artış kadar etkilemediği görülmüştür.

Yapılan deneyler sonunda çevresel hızın artması SE'yi kesme derinliği kadar etkilemediği görülmektedir. F_n ve F_t kuvvetlerindeki değişim için de artan kesme hızının ve çevresel hızının her iki kuvveti de lineer olarak arttırdığı görülmüştür.

Deneyler sonucunda kesme derinliğinin soket aşınması üzerindeki etkisinin kesme hızının etkisinden daha belirleyici olduğu görülmüştür. Bunun temel nedeni olarak ta; artan kesme derinliği ile birlikte soket-mermer temas boyunun da artmasıdır. Bu artan boya bağlı olarak yüzeye etkiyen sürtünme kuvvetleri de artacaktır. Bunun sonucu olarak ta sokette meydana gelen aşınma artacaktır. Testere temas boyunu veren ampirik bir ifade bulunmuş ve bu ifade ile temas boyunun artışı ile aşınmanın artışının karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak ta testeredeki aşınmanın özellikle kesme derinliğine dayandığı görülmüştür. Yine aşınma ile ilgili olarak yapılan deneylerde

kesme hızının sokele aşınmasını oldukça az etkilediği görülmüştür. Çevresel hızla kesme derinliğinin değişimlerinin aşınma üzerindeki etkileri karşılaştırıldığında ise aşınmaya en çok etkiyen faktörün çevresel hız olduğu görülmüştür. O halde aşınmaya etkiyen faktörler sıralandığında ilk sırayı çevresel hız daha sonra kesme derinliği son olarak ta kesme hızının aldığı söylenebilir.

Dairesel testerenin kesme anındaki yanal deplasman ölçümlerinde ise testerenin sapmasına neden olan en önemli faktör kesme derinliğidir. Yapılan deneylerde kesme derinliği arttıkça testeredeki sapmada artmıştır. Çevresel hızın artırılması ile testeredeki sapma azalmış fakat sıklaşmıştır. Testerenin yanal deplasmanını ölçmek için kullanılan lazer deplasman ölçer ile dinamometreden alınan Fz kuvvetleri de tutarlılık göstermiştir.

8. KAYNAKLAR

- Blech J.J. and Hershkovitz M., 1983, “Stresses and displacement in a rotating skew-faced disk”, *International Journal Mechanical Science*, Vol.25(11), pp.811-821.
- Büyüksağış, I. S., 1998, “ Dairesel testereli blok kesme makinelerinde mermerlerin kesilebilirlik analizleri ”, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Buyuksagis, I. S. and Goktan, R. M., 2005, “Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter”, *Journal of Materials Processing Technology*, Nov., Vol.169, pp.258-262.
- Cassapi, V.B., 1987, “Application of rock hardness and abresive and indexing to rock excavating equipment selection” Ph. D. Thesis, University of Nottingham, p. 362, U.K.
- Chen W., 2000, “Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Now., Vol.40, pp. 455-466.
- Çınar, M. S., 2007, “Mermer kesme makinelerinde elektrik enerjisi tüketimi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Ersoy, A. and Atıcı, U., 2004, “Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks”, *Diamond and Related Materials*, Jan., Vol.13, pp.22-37.
- Exadaktylos G.E. and Kaklis K., 2001, “Applications of an explicit solution fort he transversely isotropic circular disc compressed diametrically”, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciencies*, Vol.38, pp.227-243.

- Haris C.M. and Piersol A.G., 2002, "Haris Schock and vibration handbook", Mc Graw Hill, 5. Edition, USA.
- Karagöz Ş. and Zeren M. 2001, "The property optimization of diamond-cutting tools with the help of micro-structural characterization", International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, Vol.19, pp.23–26.
- Luo S.Y., 1997,"Investigation of worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite" Journal of Materials Tecnology, Vol. 70, pp.1-8.
- Meitrovitch L., 1967, "Analytical methods in vibrations" Macmillan Publishing Co., New York.
- Parker R.G. and Sahte P.J., 1998, "Exact solutions for the free and forced vibration of a rotating disk-spindle system ", Journal of Sound and Vibration, Vol.223 (3), pp.445-465.
- Polini, W. and Turchetta S., 2004, "Force and specific energy in stone cutting by diamondmill", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Sept., Vol.44, pp.1189-1196.
- Rao S.S., 1995, " Mechanical vibrations" Addison-Wesley Publishing Company, 3. Edition, USA.
- Sarıtaş S., 1995, "Powder metallurgy Processed Materials", Metallurgy and Materials, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara.
- Shen Y.I. and Ku C., 1997, "A nonclassical vibration analysis of a multiple rotating disk and spindle assembly", Journal of Applied Mechanics, Vol.64, pp.165-174.
- Tönshoff, H. K., Wobker, H. G., Przwara, R., 3/1993, "Das arbeitsverhalten von werzeugen zum trennschleifen von gestein", S 198-205 ff, Industrie Diamanten Rundschau.

Tönshoff, H. K., Buchholz, W., Przywara, R., 3/1994, “Bandschleifen von gestein mit diamantwerkzeugen”, S 165-169, Industrie Diamanten Rundschau.

Ucun, İ., 2004, “Mermer kesme disklerinin sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme ve titreşim analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

Wang C.Y., and Clausen R., 2002, “Marble cutting with single point cutting tool and diamond segments”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.42, pp. 1045-1054.

Wang C.Y., and Clausen R., 2003 “Computer similation of Stone frame sawing process using diamond blades”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.43,pp.559-572.

Wobker, H.G., Przywara, R., 1994, “Trennschleifen ven beton und naturstein”, Bauverfahrenstechnik, Februar, S 9 – 13.

Wright, D.N., Jennings, M., 2/1989, “Guidelines for sawing stone ” Industrial Diamond Review, pp 70-75.

Xu X., Li Y., Zeng W.Y. and Li L.B., 2002, “ Quantitative analysis of the loads acting on the abrasive grits in the diamond saving of granites”, Journal of Materials Processing Tecnology, Vol.129, pp.50-55.

Xu, X. P., Li,Y. and Yu, Y., 2003, “Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade”, Journal of Materials Processing Technology, Aug, Vol.139, pp.281-285.

8.1 İnternet Kaynakları

1. <http://www.actmakine.com> 02.05.2008
2. <http://www.esitscale.com> 02.05.2008
3. <http://www.entekotomasyon.com.tr> 02.05.2008

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Onur ÖZBEK
Doğum Yeri	Çankırı
Doğum Tarihi	09/10/1982
Yabancı Dili	İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	Çankırı Teknik Lisesi 1999
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi 2005