

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ BAZI GRANİTLER İÇİN OPTİMUM
KESME KOŞULLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ümit GÖRGÜLÜ

**ŞUBAT 2009
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ BAZI GRANİTLER İÇİN OPTİMUM
KESME KOŞULLARININ BELİRLENMESİ**

Ümit GÖRGÜLÜ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Maden Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.01.2009
Tezin Savunma Tarihi : 06.02.2009**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kerim AYDINER
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mithat VICIL**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Bu tez, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışma, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenen 2005.112.008.2 kod no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden ötürü K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu'na teşekkür ederim.

Tez danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi gerekse çalışmaların yönlendirilmesindeki katkılarından dolayı hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kerim AYDINER'e teşekkürü bir borç bilirim. Çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen yardımcım Uğur YAZICI'ya teşekkür ederim. Laboratuvar ortamında destek, görüş ve önerilerini esirgemeyen Arş. Gör. Ersin Yener YAZICI ve Arş. Gör. Ferdi CİHANGİR'e teşekkür ederim. Kimine göre uzak bana göre yakın diyarlarda bulunan ve varlığıyla destek bulduğum Maden Müh. Ergin KAHRAMAN ve Maden. Müh. Günser GÜLDAN'a teşekkür ederim.

Evini benimle paylaşan dostum Arş. Gör. İlker ERKAN'a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme en derin şükranlarımı sunarım.

Benim için hayatın anlamı nedir diye sorulduğunda ilk cevabım olan kişi Elif OLGUN'a teşekkür ederim.

Ümit GÖRGÜLÜ
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Dairesel Testereleler ve Kullanım Alanları.....	2
1.2.1. S/T Makineleri.....	2
1.2.2. Kafa(Baş) Kesme Makineleri.....	3
1.2.3. Köprü Kesme Makineleri.....	4
1.3. Literatür Özeti.....	5
1.4. Çalışmanın Amacı.....	7
2. DAİRESEL TESTERELELERLE KESME.....	8
2.1. Kesme Mekanizması.....	8
2.2. Testerelelerin Aşınma Mekanizması.....	12
2.2.1. Testerelelerin Aşınmasını Etkileyen Faktörleler.....	16
2.2.1.1. Testerelelerin Dizayn Özelliklelerinin Etkileleri.....	17
2.2.1.2. Testere Çalışma Parametrelelerinin Etkisi.....	20
2.2.1.3. Kaya Özelliklelerinin Etkileleri.....	23
3. DENEY DÜZENEĞİ VE MALZEME.....	26
3.1. Deney Düzeneği.....	26
3.2. Sayısal Verilelerin Elde Edilmesi ve İşlenmesi.....	30
3.3. Malzeme.....	31
3.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Testere.....	32
3.5. Deney Çalışmaları.....	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
4.1. Testere Hız Değişimi.....	36

4.2.	Kesme Derinliği Değişimi.....	37
4.3.	Kesme Tablası Hız Değişimi.....	39
4.4.	Su Debisi Değişimi.....	41
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	43
6.	KAYNAKLAR.....	45

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Dairesel testelerle kesme işlemi doğal taş kesme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan kesme yöntemleridir. Bir dairesel testerede kesme işlevini soket adı verilen ve metal matris ve matris içinde rasgele yerleştirilmiş elmas tanelerinin bulunduğu yapılar gerçekleştirir. Soketler metal göbeğin çevresinde yüksek sıcaklık kaynağı ya da lazer kaynağı yöntemleri ile yerleştirilir. Metal matris farklı elementlerin alaşımıdır ve yaygın olarak Co, Ni ve Cu-Sn içeren matris yapısı kullanılır. Elmas soketli dairesel testeler kesme sistemleri diğer kesme sistemleriyle karşılaştırıldığında bilgisayar desteği ile hata oranı % 0.01'e indirilmiştir. Yöntem ayrıca, diğer kesme sistemlerine nazaran ilk yatırım ve işletme maliyeti açısından daha karlıdır.

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesinde mevcut üç farklı granitin elmas katkılı dairesel testerele kesme sistemi ile kesilmesi süreci için en uygun çalışma parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada üç farklı granit türü kullanıldı. Deneysel çalışmalarda sistemin çalışma parametreleri olan testere hızı, kesme derinliği, tabla hızı ve su debisi incelenmiştir.

Çalışma sonucunda çalışılan kayaların kesilmesinde temel alınabilecek en uygun çalışma parametreleri belirlenmiştir. Ek olarak, çalışılan her bir değişkenin değişiminin etkileri de araştırılmıştır. Elde edilen verilerin analizi ile literatür ile uyumlu verilerin elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal taş, Kayaç kesme, Dairesel testere, Kesme performansı, Elmas katkılı soket

SUMMARY

Investigation of the optimum sawing conditions for some granites from Eastern Black Sea region

The circular sawing is the most widely employed machining method in processing /cutting of natural stones. Diamond impregnated segments performing sawing function of a saw blade are the structures consisted of a metal matrix and the diamond particles dispersed randomly in the matrix. The segments are placed on the periphery of a steel core by the high temperature or laser welding methods. Metal matrix is formed as an alloy of various elements and a matrix structure including Co, Ni and Cu-Sn is frequently used. Circular saws with diamond impregnated segments provide lower error rates up to 0.01 % by means of computer control when compared to other cutting/machining systems. The method has advantages in capital and operating cost over the competing methods.

This study was aimed at determining of the optimum operating parameters for circular sawing of three different granites from Eastern Black Sea Region. In the research, the blade peripheral speed, cutting speed, cutting depth and water flow variables were tested.

As a result of the research optimum values for the worked variables were defined. Additionally, the effects of the change of the variables worked were analyzed. As a result of the analyses of variation of the variables showed that the obtained results were found consistent with those found in the literature.

Key Words: Natural stones, Rock cutting, Circular saw, Sawing performance, Diamond impregnated segment

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Blok kesme makinesi.....	3
Şekil 1.2. Kafa kesme makinesi.....	4
Şekil 1.3. Köprü kesme makinesi	5
Şekil 2.1. Yukarı yönlü kesme için kesme işlemi kinematığı.....	8
Şekil 2.2. Aşağı yönlü kesme için kesme işlemi kinematığı	8
Şekil 2.3. Kesme zonunun şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.4. Kesici elmastaki potansiyel gerilme dağılımı.....	12
Şekil 2.5. Kayaç kesim esnasında soket ile numune arasındaki mekanik etkileşimi.....	13
Şekil 2.6. Elmas tanesinin aşınma mekanizması	15
Şekil 2.7. Elmaslı dairesel testerelede çap ile soket eni arasındaki ilişki.....	17
Şekil 2.8. Elmaslı dairesel testerelede çap ile soket adedi arasındaki ilişki	18
Şekil 2.9. Testerenin sabit yönde dönmesinde elmas tanesinin çıkıntısı ve matriks desteği.....	19
Şekil 2.10. Elmas tane büyüklüğü ile kesilen kaya arasındaki ilişki	20
Şekil 2.11. Sabit çevresel hız ve sabit kesme derinliğinde kesme hızı ile güç arasındaki ilişki.....	21
Şekil 2.12. Elmaslı dairesel testere ile çeşitli kaya kesimlerindeki ortalama güç tüketimi	22
Şekil 2.13. Çeşitli kayaların kesiminde dairesel testerelede aşınması ve kesme yükleri ile ilişkisi.....	23
Şekil 2.14. Elmaslı dairesel testerelede çapları ile su ihtiyacı arasındaki ilişki.....	23
Şekil 2.15. Çeşitli kayalar için, Shore Scleroscope sertliğinin dairesel testerelede aşınması ile ilişkisi.....	24
Şekil 2.16. Mermer kesimlerinde Cerchar Aşınma İndeksi ile testere ömrü arasındaki ilişki.....	25
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan otomatik yan kesme makinesi.....	26

Şekil 3.2.	Kesme makinesi ana ekran görünümü.....	29
Şekil 3.3.	Manuel kontrol panosu	30
Şekil 3.4.	Deneysel çalışmalarda kullanılan örnekler. Soldan itibaren Rize İkizdere graniti, Giresun Harşit graniti ve Giresun Vizon graniti	31
Şekil 3.5.	Elmas soketli dairesel testere.....	32
Şekil 3.6.	Deneysel çalışmalarda kullanılan elmas soket	33
Şekil 4.1.	Kesme kuvveti ve özgül enerjinin kesme hızına bağlı değişimi	36
Şekil 4.2.	Kesme kuvveti ve özgül enerjinin kesme derinliğine bağlı değişimi.....	38
Şekil 4.3.	Kesme kuvvetini ve özgül enerjinin tabla hızına bağlı değişimi.....	40
Şekil 4.4.	Kesme kuvveti ve özgül enerjinin su debisine bağlı değişimi.....	41

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Aşınma çeşitlerinin sınıflaması	14
Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan granitlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	31
Tablo 3.2. Deney tasarımı	35

SEMBOLLER DİZİNİ

- F_X : Yatay kuvvet (N)
 F_Y : Düşey kuvvet (N)
 F_Z : Eksenel kuvvet (N)
 F_N : Normal kuvvet (N)
 F_T : Teğetsel kuvvet (N)
SE: Spesifik (Özgül) enerji (N/mm³)
 G_S : Soket genişliği (mm)
 P_M : Motor gücü (KW, HP)
 ξ : Motor gücü verimi (%)
q: Kesme hızları oranı
 V_k : Kesme hızı (devir/dk) (mm/sn)
 $V_ç$: Çevresel hız (devir/dk) (mm/sn)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Doğal taş üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan dairesel testereler özellikle sert kayalardan plaka ve levha üretiminde ekonomik çalışma olanakları sunarlar. Plaka/levha üretimi sonrasında üretilen plaka/levhaların ebatlanması ve nihai ürün elde edilmesi aşamalarında da dairesel testereler kullanılır. Dolayısıyla doğal taş üretim süreçlerinde dairesel testere kesme süreçlerinin optimum kesme koşullarının belirlenmesi gerek ekonomiklik gerekse elde edilen verim açısından önem arz etmektedir.

Elmas soketli dairesel testerelerin kullanıldığı kesme işleminde verimli ve etkin bir çalışmanın tasarımı ve faaliyete geçirilmesi sürecini kontrol eden çok sayıda parametre vardır. Bu parametrelerin kontrolü granit gibi çok mineralli kayalar için özel bir öneme sahiptir. Kesme verimliliği üzerinde etkin unsurların genel bir gruplandırılması yapıldığında kesme verimliliği üzerine etki eden parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Kesilecek kayacın dokusal (mineralojik bileşim, tane yapısı, çimentolayan malzemenin özellikleri, silis içeriği gibi), fiziksel (sertlik, aşınma, doluluk oranı gibi) ve mekanik (dirençler gibi) özellikleri,
2. Kesme sisteminin tasarımı (elmas ve matris özellikleri, aşınma hızı, soket geometrisi, soket aralığı ve imalat yöntemi) ve çalışma parametreleri (kesme hızı, disk çevresel hızı, kesme derinliği, su debisi, tabla hızı ve özgül enerji),
3. Kesme mekaniği ile ilgili faktörler (kesme yönü, termal şok gibi),
4. Operatör becerisi ve çalışma koşulları.

Granitler fiziksel ve mekanik özelliklerinin bir sonucu olarak kesme süreçlerinde güçlükler sunan kayalardır. Dolayısıyla kesme maliyetlerinin yüksek olduğu bir çalışma sürecinde kesilirler/işlenirler. Bu durum özellikle küçük işletmeler için önemli bir engeldir. Verimli bir üretim sürecinin planlanması için kayaç ve makine çalışma parametreleri temelinde optimum çalışma koşullarının tanımlanması gereklidir. Granit gibi karmaşık yapılarda bu gereklilik, çalışılacak her kayaç için özgün çalışma koşullarının belirlenmesi anlamına gelir.

Doğal taşlar için kesme parametrelerinin belirlenmesine yönelik temel bir çalışma dairesel testere çalışma parametreleri için optimum değerlerin belirlenmesini içerir. Daha

detaylı bir çalışma için ise soket tasarım parametreleri ve kayaç dokusal özelliklerinin de içerildiği bir deneysel çalışma sürecine gerek vardır. Makine çalışma parametreleri olarak disk çevresel hızı, kesme tablası hızı, kesme derinliği ve soğutma suyu debisi değişkenleri temel alınır. Ayrıca disk tasarım parametrelerinin de kesme performansı üzerinde etkisi vardır. Soket kalınlığı, soket sayısı, soket bileşimi, soket içindeki elmas oranı, elmas tanelerinin şekli ve tane boyut değişkenleri de detaylı bir çalışmada değerlendirilmesi gereken parametrelerdir. Kayaçların mineralojik bileşimi, kuvars oranı, mineral tanelerinin boyutları ve şekli de kesme performansı üzerinde belirleyici etkiye sahip kayaç dokusal özellikleridir.

1. 2. Dairesel Testereler ve Kullanım Alanları

Mermer işleme tesislerinde üretilen ürünün türü, aynı zamanda mermer fabrikalarının da temel yapısını oluşturur. Mermer işleme tesislerinde kullanılan geleneksel dairese kesme sistemleri, köprü kesme makineleri ve döşemelik yapı malzemesi veya özel siparişlerin üretiminin gerçekleştirilmesinde S/T, baş kesme, ebatlama, ve otomatik yan kesme makineleri kullanılmaktadır.

1.2.1. S/T Makineleri

Döşemelik yapı malzemesi veya özel siparişlerin üretiminin gerçekleştirilmesinde kullanılan S/T (Şekil 1.1.) makinelerinin ilk üretimi bir Fransız firması olan S/T tarafından yapıldığı için ülkemizde de bu isimle adlandırılırlar. S/T'ler fayans hattı için gerekli olan levhaların üretimi için kullanılırlar. Bu makineler, 1,8-3 m çapında 4-6 mm kalınlığında dairese bir disk etrafına tutturulmuş soketlerle kesim yapan, dönme hızları yüksek olan makinelerdir. Maksimum kesme derinliği kullanılan testerenin disk çapına göre değişir. Bu makinelerle çalışmanın avantajları şu şekilde sıralanabilir (Onargan, vd., 2006);

1. Makine ilk yatırım maliyeti düşüktür.
2. Düzensiz blokların verimli kesilmesi ve ekonomiye kazandırılması daha kolaydır.
3. Küçük miktarlarda üretim için uygundur.
4. Yarı mamul ve mamul elde edilmesinde avantajlıdır.

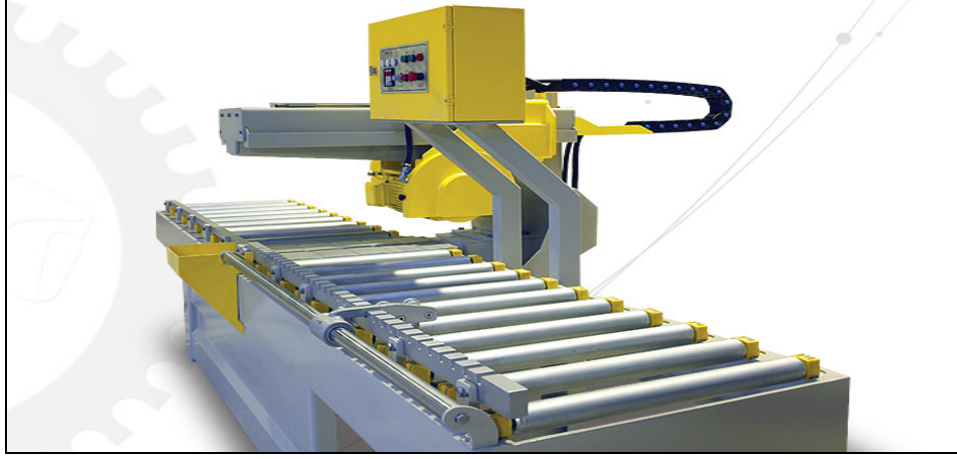
5. Dairesel testere ve blok tablasının hareketi sonucu çok eksenli kesim yapma esnekliğine sahiptir.
6. Değişik kalınlıklarda plaka kesimine olanak sağlar.



Şekil 1.1. Blok kesme makinesi (S/T) (URL-1, 2009).

1.2.2. Kafa (Baş) Kesme Makineleri

Kafa (Baş) kesme makinesi (Şekil 1.2.), S/T makinelerinden gelen levhaların bozuk olan uç kısımlarının düzeltilmesi amacıyla kullanılan makinelerdir. Yaklaşık 75 cm genişliğe kadar kesme yapabilirler. Bu makinelerin S/T makinelerine yakın olmaları gerekir aksi takdirde iş gücü veriminin düşmesine neden olur. Bu tip makinelerin çok çeşitli tipleri mevcut olup makineyi kullanan kişinin yüke giriş çıkışlarda hızı kesmesi ve kesim hızını malzemenin cinsine göre yapması gerekir (Onargan, vd., 2005).



Şekil 1.2. Kafa kesme makinesi (URL-2, 2009).

1.2.3. Köprü Kesme Makineleri

Köprü kesme makineleri (Şekil 1.3.), 360° dönebilen bir tabla üzerine yatay olarak yerleştirilmiş doğal taş plaka veya plakaların istenilen boyuta getirilmesinde kullanılırlar. Genellikle katrak ürünlerinden, geometrik olarak en büyük alanı sağlayan kare veya dikdörtgen alan elde etmek için kullanılmakla birlikte, istenildiğinde kafa kesme ve yan kesme makinelerinin görevini de yapabilmektedir. Bu makineler, sağa sola hareketli bir kolon ve bu kolon üzerinde ileri geri hareket edebilen bir kesici gövdeden oluşur. Kesici olarak 300-600 mm arası dairesel testereler kullanılıyorsa da uygun boyut 450 mm olanlarıdır. Doğal taş plaka ya da plakalar perde duvarlar arasında bulunan tabla üzerine yatırıldıktan sonra istenilen ölçülerde kesilir (Onargan, vd., 2005).



Şekil 1.3. Köprü kesme makinesi (URL–3, 2009).

1.3. Literatür Özeti

Dairesel testere ile kesme işlemi ile ilgili çalışmalarda temel ilgi konusu başlıca kesme mekanizması ile kesme sürecinde etkin parametrelerin tanımlanması ve soket/elmas aşınma mekanizmasıdır. Her iki konu da temelde kesme performansının optimize edilmesi amaçlarına temel oluşturur. Soket aşınması ve kesme performansı üzerindeki etkili parametreler, bu parametrelerin davranışları, kesme ve kırıntı oluşma süreci, kesme sürecinde enerji tüketimi ve disk üzerindeki yük dağılımı gibi konularda yoğunlaşan çok sayıda teorik analiz (Konstanty, 2002; Tönshoff ve ark., 2002) deney tabanlı modelleme çalışmaları mevcuttur (Xipeng ve ark., 2003). Kesme performansı konusundaki çalışmalarda önemli bir çaba alanı da belli bir kayaç için uygun çalışma koşullarının tanımlanmasıdır. Ayrıca, kesme performansının tahmini ya da kontrolü için temel alınabilecek parametrelerin belirlenmesine yönelik çalışmalar da son yıllarda yoğunluk kazanmıştır. Bu amaca yönelik çabalar, kesme hızı ve disk dönüş hızı gibi çalışma parametreleri ile basınç dayanımı ve sertlik gibi kayaç mekanik özelliklerinin kesme performansı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmaların yanı sıra soket aşınması oranı/hızı ya da özgül enerji (spesifik enerji) gibi parametrelerin araştırıldığı çalışmaları kapsar.

Kesme performansı üzerindeki etkin parametrelerin davranışının araştırıldığı çalışmalar önemli bir yer tutmaktadır. Brook (2002) sertlik-kesme performansı ilişkisini

araştırdığı çalışmasında kesilebilirliğin tahmininde kullanılmak üzere Brook Sertliği olarak adlandırdığı bir sertlik indisi önermiştir. Beş farklı granit ile gerçekleştirdiği çalışmasında Xipeng (2001) kesme sürecinde harcanan enerjinin büyük kısmının soket-kayaç (granit) arasındaki sürtünme için harcandığını ve belli bir granit türü için sürtünme katsayısının sabit olduğunu ancak kesilebilirliğin artışı ile arttığını ortaya koymuştur. Sertliğin granitlerin kesilebilirliği üzerinde oldukça önemli bir parametre olduğunu gösteren çalışmalarında Delgado ve ark. (2005) Porrino (İspanya) granitleri ile yaptıkları çalışmalarında kuvars içeriğinin kesilebilirlik üzerinde etkisinin sertliğe kıyasla yüksek olmadığını ve Vickers sertliğinin granitlerin kesilebilirliklerini karakterize etmek üzere kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Kayaç dokusal özelliklerini de temel alan sınırlı sayıda çalışmadan birinde Norling (1971) tane irililiğinin kesme performansı üzerindeki etkisinin silis içeriğinden daha etkili olduğunu belirlemiş, Burgess (1978) ise kesme performansının tahmini için mineralojik bileşimi temel alan bir regresyon analizi modelini önermiştir. Li ve ark (2002) matris içindeki elmas taneciklerinin boyutunun küçülmesi ile granitlerde kırılma formdan sünek forma değişen bir kırılma oluşumu mekanizmasının geliştiğini belirlemişlerdir. Wright ve Cassapi (1985) ise Shore sertliği ve NCB deney ölçümü sonuçları ile soket aşınması arasındaki ilişkiyi dokuz magmatik kayaç için belirlemişlerdir.

Günaydın ve ark. (2003) farklı kırılma indisi ile kesilebilirlik arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Kesme direnci ile kesme performansı arasındaki ilişkiyi araştıran Kahraman ve ark. (2006) ise bazı mermerlere ait gerçek çalışma koşullarında elde edilen verilerle yapay sinir sistemi modelleri oluşturmuşlardır. Kahraman ve ark. (2004) bir başka çalışmada, karbonatlı kayaçlar için kesme sırasında oluşan kırılma miktarına bağlı olarak performans tahmini yapma olanağı sağlayan bir regresyon modeli önermişlerdir. Büyüksağış ve Gökten (2005) mermer örneklerle gerçekleştirdikleri çalışmalarında kesme hızı ve kesme derinliğinin etkisini ve Eyüboğlu ve ark. (2003) andezit örnekleri ile gerçekleştirdikleri araştırmalarında soket aşınması ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Büyüksağış (2007) altı granit örnek ile disk dönüş yönünün özgül enerji ve aşınma oranı üzerindeki etkisini araştırmış her iki parametrenin de kayaca özelliklerine göre (mineralojik bileşim, silis içeriği gibi) değişim gösterdiğini belirlemiştir.

Soket/elmas aşınması konusundaki çalışmalar genellikle aşınma mekanizmasının açıklanması ve kayaç fiziksel-mekanik özelliklerinin aşınma üzerinde etkisinin araştırılması konusunda odaklanmıştır. Liao ve Luo (1992) sinterlenmiş elmas katkılı

soketlerin aşınma davranışını araştırdıkları çalışmalarında elmas tanelerinin kırılmasının darbeler, yüzey yorulması ve matris aşınması sonucunda gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Luo (1997) iki farklı granitle gerçekleştirdiği çalışmada soket aşınmasında sertlik ve silis içeriğinin etkisini ortaya koymuş aşınmanın sert granitte geniş çatlak, yumuşak granitte ise kılcal çatlak oluşumu ile geliştiğini belirlemiştir. Ayrıca, her iki durumda da meydana gelmesine rağmen tane sökülmesinin yumuşak granitte kesmeyi zorlaştırmadığını belirlemiştir. Farklı özellikli granitlerde, değişen çalışma koşullarında soket aşınması ve disk üzerindeki yük dağılımı değişimini inceleyen Xipeng ve ark. (2003) disk çapının artışı ile yük dağılımı oranının doğrusal arttığını, kesme süresinin artışına paralel olarak aşınmanın da artması ile oranın azaldığını ancak normal ve teğetsel yük bileşenlerin arttığını belirlemişlerdir. İki farklı soket tasarımının on farklı kayada aşınma performansını inceleyen Ersoy ve ark. (2005) soket aşınmasının çoğunlukla aşınma şeklinde geliştiğini ancak darbe ve yorulma etkisinin aşınmayı hızlandırdığını ortaya koymuşlardır. Ünver (1992) soket aşınması ile kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi temel alan bir tahmin modeli önermiştir.

1.4. Çalışmanın Amacı

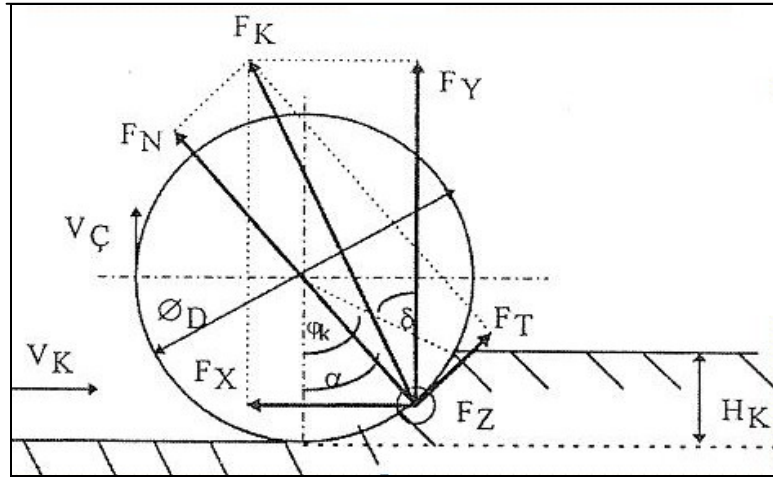
Bu çalışma Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan ve ikisi faal olarak işletilen yataklardan elde edilen üç granit türü için dairesel testere ile kesmede uygun çalışma koşullarının belirlenmesini amaçlar. Çalışılan örneklerden İkizdere (Rize) graniti geçmiş dönemlerde kısa aralıklarla işletilmiştir. Ancak günümüzde yatakta herhangi bir üretim faaliyeti mevcut değildir. Harşit (Giresun) ise faal bir ocaktır ancak plaka/fayans üretimi planlanan ocakta hâlihazırda blok taş üretimi yapılmaktadır. Vizon (Giresun) granit doğal taş piyasasında kabul görmüş bir taştır. Vizon granit başka araştırmacılar tarafından daha önce çalışılmış bir taş olmasına karşın diğer iki granit için kesme performansı konusunda bir çalışma gerçekleştirilmemiştir.

Çalışmada kesme performansının kesme tablası hızı, disk dönüş hızı, kesme derinliği ve soğutma suyu debisi değişkenlerinin değişimi ile optimum kesme performansı araştırılmıştır. Elde edilen bulgular önceki çalışmalarla karşılaştırılarak çalışılan kayalar için uygun çalışma parametreleri belirlenmiştir.

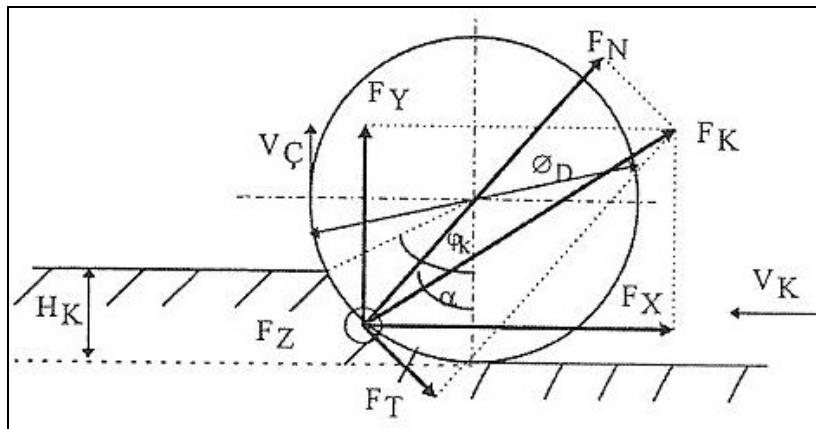
2. DAİRESEL TESTERELERLE KESME

2.1. Kesme Mekanizması

Onargan, vd. (2006), dairesel testerelerin kesme kinematiği üzerine yapmış olduğu çalışmalarda kesme sürecinde, dairesel testerenin kayacı kesmesi esnasında mekanik etkileşimler sonucu oluşan kuvvetler ve bileşenleri ortaya çıkarmıştır. Bunlar, Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Yukarı yönlü kesme için kesme işlemi kinematiği (Onargan vd., 2006).



Şekil 2.2. Aşağı yönlü kesme için kesme işlemi kinematiği (Onargan vd., 2006).

F_x : Dairesel testere kesme yönünde oluşan yatay (x) kuvvet (N), F_y : Dairesel testere kesme yönünde oluşan düşey (y) kuvvet (N), F_z : Dairesel testere kesme yönüne dik oluşan aksel (z) kuvvet (N), F_T : Teğetsel kuvvet (N), V_C : Dairesel testerenin çevresel hızı (m/sn), V_K : Kesme hızı (m/sn), φ_D : Dairesel testere çapı (mm), H_K : Kesme derinliği (mm), φ_K : Dairesel testerenin kayaçla temas açısı (derece), α : Normal kuvvetin etki açısı (derece).

Yatay (F_x), Düşey (F_y) ve Aksel (F_z) kuvvetler ölçümler neticesinde bulunan kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin yardımıyla aşağı yönlü kesme durumunda normal kuvvet (F_N) ve teğetsel kuvvet (F_T) için:

$$F_N = F_y \sin \alpha \cdot F_x \cos \alpha \quad [1]$$

$$F_T = F_x \cos \alpha \cdot F_y \sin \alpha \quad [2]$$

bağıntıları yazılabilir. Dairesel testerenin kayaç kavrama açısı (φ_K) ve normal kuvvetin etki açısı (α) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\varphi_K = \arccos \left[1 - \frac{2H_K}{\varphi_D} \right] \quad [3]$$

$$\alpha = w \varphi_D \quad [4]$$

Aşındırma açısına ait w faktörünün değeri (Büyüksağış, 1998) kayaçlar için $w = 0,7$ olarak önerilmiştir. Bir dairesel testerenin kesme işlemini gerçekleştirebilmesi için gerekli motor kuvveti (P_C)

$$P_C = F_T \cdot V_C \quad [5]$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Birim zamanda dairesel testere tarafından kesilen hacim için harcanan enerji miktarı özgül enerji (spesifik enerji) olarak tanımlanır ve aşağıdaki bağıntı ile belirlenir (Wang ve Clausen, 2002).

$$SE = \frac{P_C}{Q_W} = \frac{F_T \times V_C}{H_K G_S V_K} \quad [6]$$

Burada;

P_C : Motor kuvveti (KW)

Q_W : Kesilen kısmın hacmi (mm^3)

G_S : Soket genişliği (mm)

Bir elektrik motor gücünün tam verimle kullanılmadığı düşünülürse, gerekli motor kuvveti aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanabilir (Büyüksağış, 1998).

$$P_C = P_M \xi \quad [7]$$

Burada;

P_M : Motor gücü (KW, HP)

ξ : Motor gücü verimi (%)

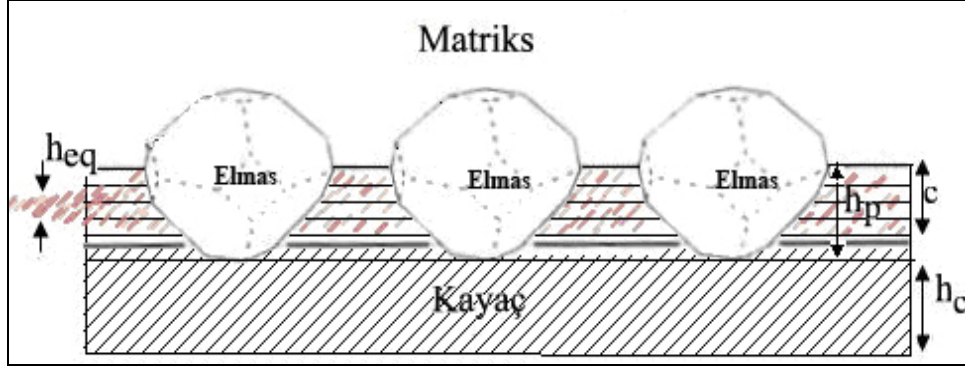
Teğetsel kuvvetin (F_T) normal kuvvete (F_N) oranı kesme kuvvetleri oranı (μ) olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$\mu = \frac{F_T}{F_N} \quad [8]$$

Kesme hızının dairesel testere çevresel hızına oranı, kesme hızları oranı (q) olarak aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmektedir.

$$q = \frac{V_K}{V_C} \quad [9]$$

Dairesel testerele ile kesme sırasında oluşan kesme zonu Konstanty (2000) tarafından incelenmiş, kesme zonunun tanımlanmasında rol oynayan parametreler Şekil 2. 3'de gösterilmiştir. Şekil elmas taneciklerinin hepsinin aynı yükseklikte yerleştirildiği ve matriks ile kayaç arasındaki açıklığın kesme zonu boyunca aynı olduğu kabulü üzerinde geliştirilmiştir.



Şekil 2.3. Kesme zonunun şematik gösterimi (Konstanty, 2000).

Elmas kristali kayada kesme yaparken çentik kuvveti uygular. Dairesel kesmede, elmas ilerleme derinliği (h_c) (μm) aşağıdaki formül ile ifade edilebilir (Konstanty, 2000).

$$h_c = \sqrt{\frac{\text{Kesme Oranı (cm}^3/\text{dk)}}{\text{Bıçağın Çevresel Hızı (cm/dk) x Temas Alanı (cm}^2) \times N_A}} \quad [10]$$

N_A : Elmasın birim yüzey alanında kesici köşe sayısı

N_A , genel olarak elmas tane boyutu ve oranına bağlıdır, ancak matriksin tutma kapasitesinden de etkilenmektedir.

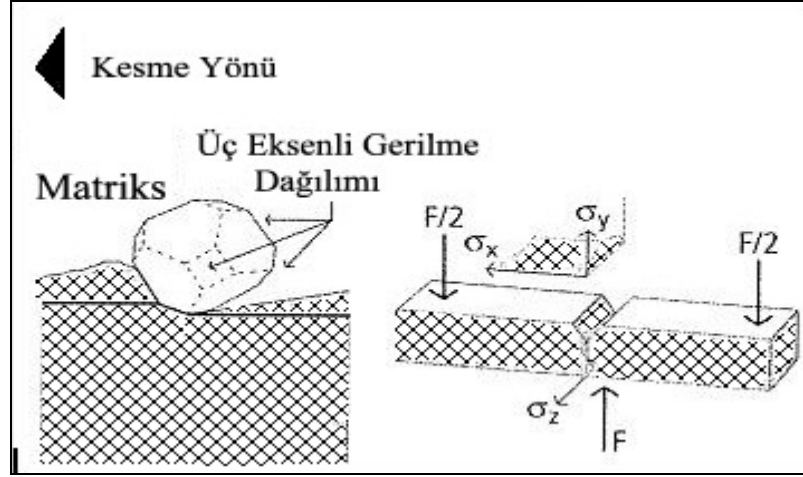
Kesme zonunda önemli bir parametre de h_p çalışma yüksekliğidir. Bu parametre, elmas tane boyutu, dayanımı ve oranının parametrelerine bağlıdır. Sabit elmas oranında elmas tane boyunun arttığında elmas kristalin üzerine gelen aşırı yüke karşı koyabilmesi için çalışma yüksekliğinin artırılması gereklidir.

Dairesel testerele yapılan kesme işleminde, ortamda oluşan kayaç ve matriks artıkları su yardımıyla ortamı terk eder. Elmas çıkıntısı, kesme işlemi sırasında oluşan kırıntının ortamı terk etmesi için gerekli açıklığı oluşturan dolayısıyla da kesme işleminin verimliliğine etki eden en önemli parametrelerden biridir.

Bunlar; kırıntı kalınlığının (h_{eq}) (μm), matriks ile kayaç arasındaki açıklığa (c) oranına bağlıdır.

$$h_{eq} = \sqrt{\frac{\text{Kesme Oranı (cm}^2/\text{dk)}}{\text{Bıçağın Çevresel Hızı (cm/dk)}} \quad [11]$$

Kesme işleminde oktahedral şekilli elmas kristalleri, matrikste yapay bir sırt oluşumuna sebep olmaktadır. Oluşan bu sırt, elmas kristal üzerinde üç eksenli bir gerilme dağılımı oluşturmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Kesici elmastaki potansiyel gerilme dağılımı (Konstanty, 2000).

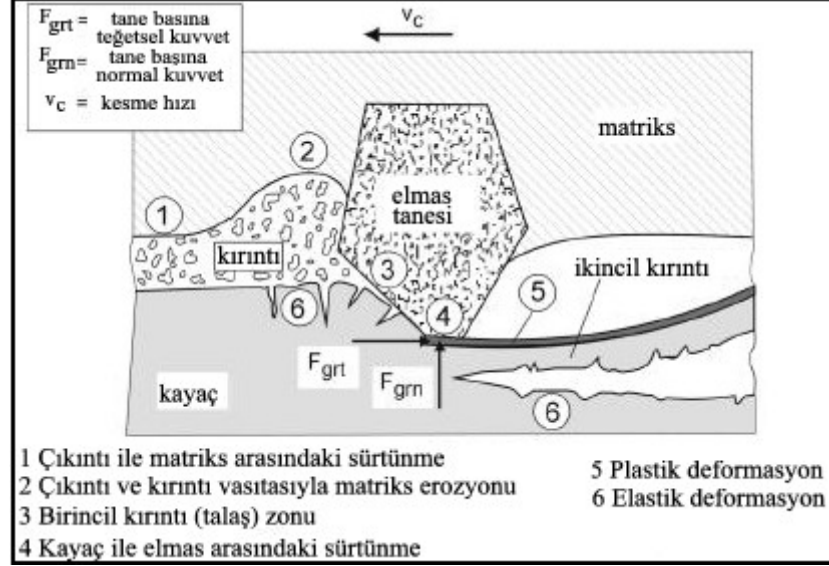
Dairesel testereler ile kesme işleminde, kesici ile kesilen malzeme arasındaki kinematik ilişki kesici yüzeydeki her bir elmas tanesi için geçerli olmaktadır. Kesme işlemi için önceden yapılan çalışmaların dayandığı ana temel; dairesel testere üzerindeki elmas tanesinin mekaniğidir. Bazı yaklaşımlar sonucunda, kesme işlemi sırasında kesilen malzeme ile elmas tane arasında geometrik bir ilişkinin ortaya çıktığı belirtilmektedir. (Chen ve Rowe, 1996).

2.2. Testerelerin Aşınma Mekanizması

Soketlerdeki aşınma, kesici yüzey üzerindeki materyalin makroskopik (gözle görülebilecek boyuttaki) ve mikroskopik (mikroskop altında görülebilecek boyuttaki) olarak uzaklaşması, çatlaklar oluşması, çizilmesi, yuvarlaklaşması ile kesici ömrünün azalması veya yok olması olarak tanımlanabilir.

Testerelerin kesici bölümü (soket) iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar: matriks (tungsten karbür, çelik alaşımlar veya ağır, sert metal alaşımlarının karışımı) ve elmas (suni veya doğal elmas, her ikisinin karışımı) tır. Bu nedenle, matriksin veya elmasın aşınma karakteristikleri birbirlerinden farklıdır. Elmaslar matriks malzemesinden daha

kırılğan olup, kesme uçlarında oluşan gerilme ve makaslama kuvvetlerinden dolayı, kesici elmaslar tek başlarına matriks desteği olmadan kesme işlevi yapamazlar.



Şekil 2.5. Kayaç kesim esnasında soket ile numune arasındaki mekanik etkileşim (Tonshoff, H.K. vd., 2002).

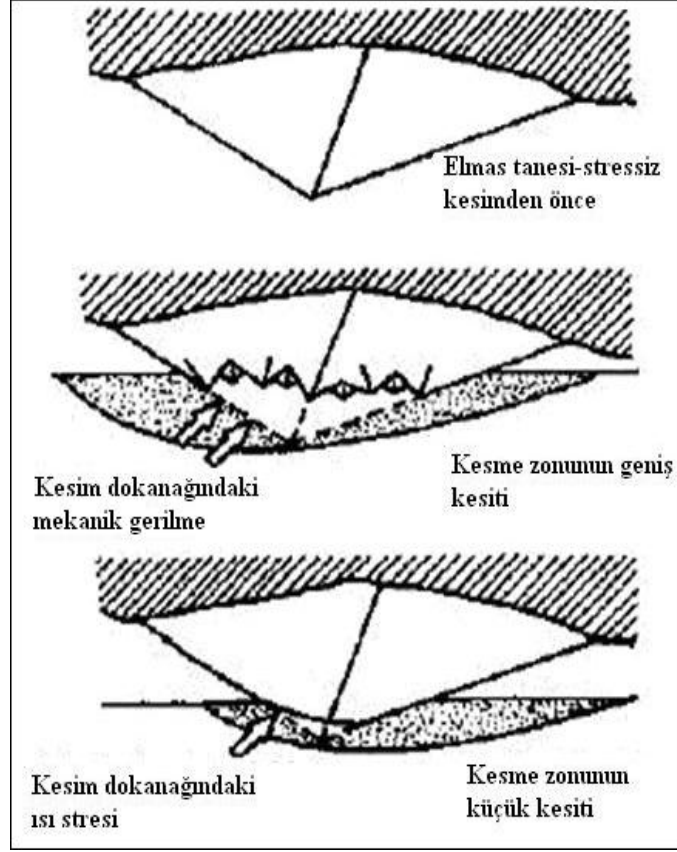
Testerelerde aşınma, yerinden yani kesici kısımdan fırlamış, aşınmış parçaların görünümünden veya aşınma mekanizmalarından ve aşınma şartlarından karakterize edilebilmektedir. Genellikle, bu tür sınıflamalar; yumuşak aşınma, sert aşınma, çentikleme ve çizme ile aşınma, sürtünme ile aşınma olup, aşınan parçaların dikkatle incelenmesi esasına dayanmaktadır. Ancak, diğer aşınma formları, aşınma prosesleri sırasındaki, kesici kısımdan uzaklaşan veya aşınan materyalin şartlarına bağlı olup, aşındırıcı (abrasiv), yapışıcı (adhesiv), erozyon yapıcı (erosiv), korozyon yapıcı (korrosiv) aşınmalar olarak sınıflandırılmaktadır. Kaya kesicileri için aşınma sınıflaması, aşınma mekanizmaları ve şartlara göre yapılması daha kullanışlıdır.

Aşınma tipleri için aşınma mekanizmaları Tablo 2.1'de özetlenmiştir. Çizelgedeki ilk beş tip aşınma mekanik etkileşim sonucu oluşmakta, son aşınma tipi ise, çevre şartlarından etkilenmektedir. Testerelerde elmas tanelerinde meydana gelen tipik aşınma mekanizması Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Testerelerdeki elmas taneleri üzerine gelen kesme yükleri, kaya dayanımını yendiği zaman, kaya kesilmekte yani kayadan parçalar ayrılmaktadır. Uzaklaşan kaya parçaları ile birlikte kayadan yeni yüzey açılmakta olup, elmas kesme derinliği düşmektedir. Kesici segmentlerin radyal aşınması ile kesici elmaslarda, yeni

yüzeyler ortaya çıkmakta ve kesme işlevinin ileri aşamalarında kesici elmaslarda mikro çatlaklar meydana gelmektedir. Elmasların tekrarlanmış mikro çatlaklarından ve elmas matriks erozyonu ile elmas taneleri kesici segmentlerden fırlamakta veya uzaklaşmaktadır. Düşük kesme yükleri ve kayaların yüksek aşınma aktiviteleri ile elmas tanelerinin kesme köşeleri devamlı olarak yuvarlaklaşmaktadır. Böylece elmas yüzeyleri üzerinde aşınma, yassılaşıma oluşarak, temizleme açıları düşmektedir. Bu durumda, gerek yan, gerek dikey kesme yüklerinin artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kesme yüklerinin artması ile matriks elmas tanelerini tutamamakta ve elmas yerinden çıkmaktadır (Ersoy, A. ve Atıcı, Ü., 1999).

Tablo 2.1. Aşınma çeşitlerinin sınıflaması (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Aşınma tipi	Kontak türü	Hareket	Aşınma Mekanizması
Aşındırıcı	Elastik/plastik	Kayma	Aşınma
Yapıştırıcı	Elastik/plastik	Kayma	Yapışma
Erozyon	Elastik/plastik	Çarpma / Kayma	Aşınma
Yenme yıpranma	Elastik/plastik	Sallanma	Aşınma
Yorulma	Elastik/plastik	Yuvarlanma	Yapışma
Korozyon yapıcı	Elektrolitik	Elektrokimyasal	Yorulma



Şekil 2.6. Elmas tanesinin aşınma mekanizması (Ersoy ve Atıcı, 1999).

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

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

kendini göstermektedir. Kaya kesicilerinin aşınma mekanizmaları aşağıdaki 4 aşınma hipotezi ile özetlenebilir (Ersoy ve Atıcı, 1999):

1. Aşındırma (abrasion)
2. Darbe veya çarpma ile yorulma
3. Darbe yüklemesi ve ani yükleme
4. Isı şokları

Aşındırıcı aşınma, homojen aşınma şeklinde gelişmekte ve kesici ömrünü kademeli olarak bitirmekte, kesme hızını düşürmektedir. Bu aşınma türü, kaya özelliklerinin, sokete uygulanan kesme yüklerinin, soket ısısının, kesme hızının ve soket özelliklerinin bir fonksiyonudur. Yumuşak ve plastik davranış gösteren kayaların yüzeyleri düz bir açı ile aşınarak, kesici ile kaya yüzey kontağında küçük alanlar oluşurken soketler keskin durumda kalırlar. Sert ve kırılğan kayaların yüzeyleri paralel olarak aşınırlar. Bu nedenle soket-kayaç değme yüzeyinde daha geniş alanlar oluşur. Bu alanlar daha yüksek kesme yükleri gerektirir (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Yüksek kesme yükleri altında darbe şokları kalıntı (residual) gerilmelere sebep olur. Kalıntı gerilmeler testerelerin imali sırasında sinterleme ve presleme süreçlerindeki hatalardan oluşur. Darbe yorulmaları ise mekanik yorulmalar sonucu ortaya çıkar. Kalıntı gerilmeler küçük olsa bile yüksek darbe yüklerinin şoku makro kırılmalara neden olabilir. Çünkü, elmas matriks materyalinden çok daha serttir. Ancak, elmaslar matriksten daha az deforme olurken, destekleme bağı zayıflayarak gerilme streslerine maruz kalır. Elmas tanelerinin çatlakları, elmas yüzeyleri boyunca hareket eden şok dalgaları ile darbe yüklerine maruz kalır.

Soketlerin kayaca sürtünmesi sonucu ısı artışları meydana gelir. Bu artış doğrudan aşınma direncini ve ileri aşamalarda soket yapısını etkiler. Soketlerin ısısı 350°C'ye ulaştığında, aşınma dramatik olarak artar ve bu ısıdan sonra soketler kesme işlevinde başarısız olur. Bu nedenle bu ısı değeri "Kritik soket ısısı" olarak tanımlanır. Bu ısı değerinden sonra, elmas tanelerinin sertliği yoğun olarak azalırken elmas tanelerinden de mikroskobik parçacıklar uzaklaşır (Ersoy ve Atıcı, 1999).

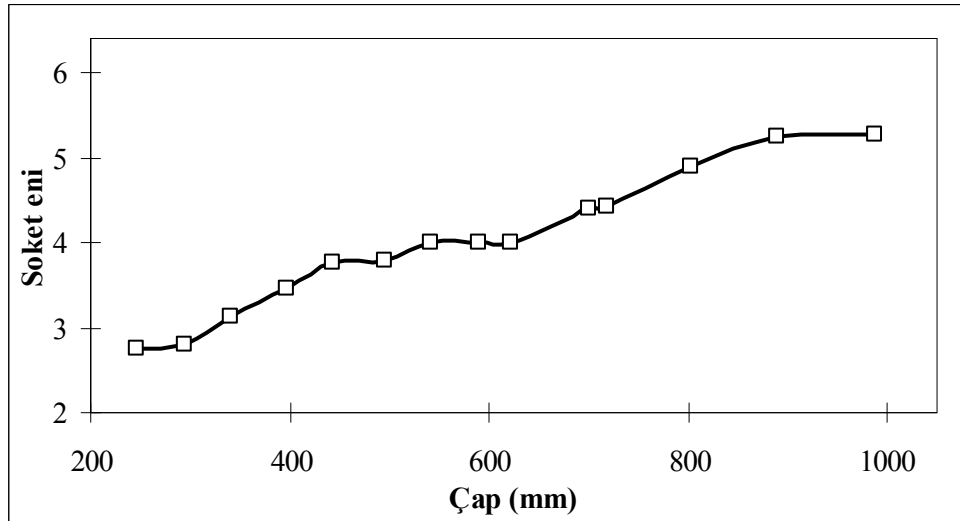
2.2.1. Testerelerin Aşınmasını Etkileyen Faktörler

Testerelerin aşınması, bir çok kompleks faktör tarafından etkilenmektedir. Bu faktörler, kaya özellikleri: dokusal, mekanik, yapısal, atmosferik, testere parametreleri:

çalışma ve dizayn, sıvı ve ısı özellikleri ve diğer parametreler sayılabilir (Ersoy ve Waller, 1995). Ancak, abrasiv aşınma, testerelerin kaya kesimi sırasında, testerelerin aşınmasından sorumlu ana mekanizmadır. Bu aşınma, testerelerin dizayn ve çalışma, kesilen kaya özellikleri esas alınarak tespit edilmektedir.

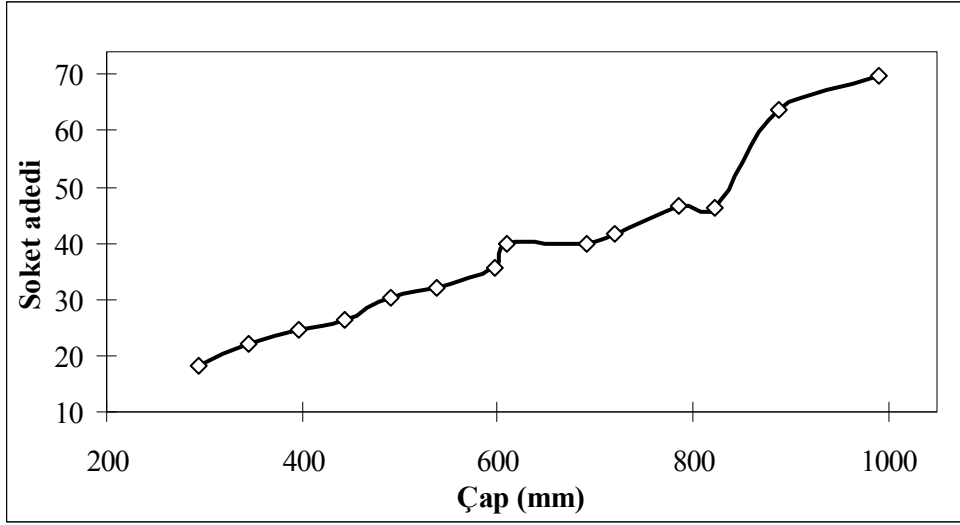
2.2.1.1. Testerelerin Dizayn Özelliklerinin Etkileri

Aşınmayı etkileyen testerelerin dizayn özellikleri; soket, elmas, matriks, çap, su kanalları ve flanş özellikleri olarak düşünülmüştür. Elmaslı dairesel kaya testerelerinde taşı aktif olarak kesen bölüm, zaman ve basınç kontrolü altında kaynak edilmiş "soket" olarak adlandırılan elmaslı plakettir. Kaya kesmede en önemli faktörlerin başında soketlerin kesilecek olan taşın uygunluğu yer alır. Çünkü, soketlerin taşı aşındırarak kesmesi kadar, taşında soketi aşındırması gerekir. Bu şekilde körelen elmasların yerine yeni elmaslar yüzeye çıkar ve kesme işlemi devam eder. Testere çapı ile soket boyutu ve soket adedi arasındaki ilişki Şekil 2.7 ve Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Elmaslı dairesel testerelerde çap ile soket eni arasındaki ilişki (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Testere çapı arttıkça soket adedi ve soket boyutu artmaktadır. Disk çapı ile soket arasında hemen hemen lineer bir ilişki görülmektedir. Disk çapının sabit olması, soket adedinin azaltılması veya arttırılması testerenin aşındırarak kesim hızını düşürür ve testere gövdesinin eğilmesine neden olur. Ayrıca, kesilen taş yüzeyi bozulur ve maliyeti artırır.

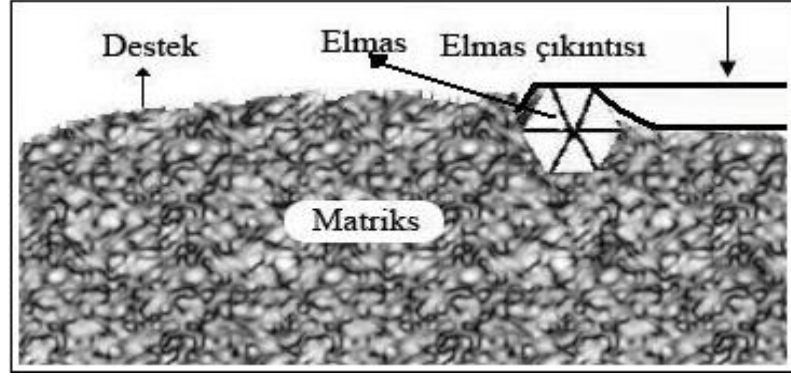


Şekil 2.8. Elmaslı dairesel testerelede çap ile soket adedi arasındaki ilişki (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Pratik olarak soketlerin testereden düşmesinin en büyük nedenleri; soketlerin gerektiği gibi sinterlenmediği, kesilen taşın tam yerine oturmadığı, yeterince soğutma suyunun gelmediği, testerenin kesim doğrultusunda olmadığı, testerenin kesilen taşa göre sert olduğu, flanşın hatalı olduğu ve testere gövdesinin bozulduğu gibi kriterler sayılabilir.

Soket kalınlığı ile soketin kaynatıldığı gövdenin kalınlıkları birbirlerinden farklıdır. Bunun nedeni soketin ön yüzden kesme işleminde, yanlardan da bu işleme yardımcı olmak ve testere gövdesinin hareket edeceği kanalı geniş tutarak, gövdenin mermer bloğu tarafından sıkıştırılmasını engellemektedir. Ancak, soket uçlardan aşınmakla birlikte, yan çeperlerden de aşınmaktadır. Bu aşınmayı önlemek için soket şekli dikdörtgen yerine, prizmatik şeklinde üretilmelidir. Bu durum soketlerin homojen ve dengeli olarak aşınmasını sağlayacaktır.

Matriks sertliğinin, kesilen kaya sertliğine uygun olması gerekmektedir. Eğer matriks kesilen malzemedan daha sert olursa, elmas kesme işlevini yaparken aşınacak, yani körelecektir. Matriks yeterli seviyede aşınmadığı için körelen elmas hala matriks tarafından tutulacak ve yeni elmas yüzeyleri kayaya temas edemediği için testerelelerin kesim hızı düşerek, başarısız olacaktır. Bu nedenle, elmaslarla matriks eş zamanlı aşınması gerekmektedir. Testereleler taş kesimi sırasında, sabit yönde dönmelidir. Bu nedenle, elmas ve matriksteki aşınmada aynı yönde olmaktadır, bu durum Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Taş kesimindeki gözlemlerden, sert mermer kesimi için testerelelerde göreceli olarak yumuşak matriks kullanılmalıdır (Ersoy ve Atıcı, 1999).



Şekil 2.9. Testerenin sabit yönde dönmesinde elmas tanesinin çıkıntısı ve matriks desteği (Ersoy ve Atıcı, 1999).

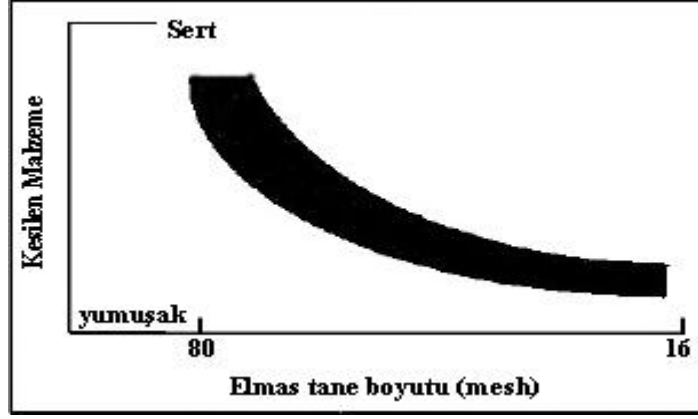
Elmas ve matrix seçiminde, ikincil faktörler vardır ki bu faktörler performansı ve testere ömrünü etkilemektedir. Birbirini takip eden bu kriterler çok önemli olarak dikkate alınmalıdır (Konstanty, 2002).Önem sırasına göre;

1. Soket üretim metodu ve parametreleri
2. Çalışılan malzeme özellikleri
3. Kesme koşulları
4. Soğutma verimi
5. Soket ile metal gövde arasındaki bağlantının kalitesi
6. Metal gövde dizaynı ve gerilimi
7. Makine şartları
8. Operatör becerisi

Testerelerde kullanılan elmasların tane boyutu kesilecek kayacın cinsine ve testerenin çapına göre değişmektedir. Elmas tane boyutu ile kesilecek malzeme arasındaki ilişki Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Genellikle sert malzemeler için elmas tane boyutu küçük (tane sayısı fazla), yumuşak malzemeler için ise elmas tane boyutu büyük (tane sayısı az) olması istenmektedir. Eğer iri taneli elmaslar, sert malzeme kesimi için kullanılırsa, elmasın kayada ilerleme hızı minimumdur. Normal olarak elmas tanesi ya yerinden düşecek ya da körelecektir. Soket imali için gerekli elmas miktarı; 1 cm³ soket için 1 ile 6 karat arasında değişmektedir. 1kg soket malzemesi içerisinde 25-120 gr civarında elmas kullanılmaktadır (Konstanty, 2002).

Flanş'ın görevi testereyi makinaya sıkı olarak sabitlemek ve testerenin yalpalı dönmesini önlemektir. Bu nedenle, flanşların alınları düzgün, temiz ve passız olması gerekmektedir. Flanşların durumu belli aralıklarla kontrol edilmelidir. Kesici testerenin iki

yanındaki flanşların eşit olması, bunların diske bastırılan yüzeylerin pürüzsüz, temiz ve o diske göre uygun çapta olması gerekmektedir. Disk çapı ile flanş çapı arasında yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 2.10. Elmas tane büyüklüğü ile kesilen kaya arasındaki ilişki (Konstanty, 2002).

2.2.1.2. Testere Çalışma Parametrelerinin Etkisi

Testere çalışma parametreleri kesme hızı, güç, kesme yükleri, çevresel hız, kesme derinliği ve su ihtiyacı olarak belirlenmiştir. Kesme hızı, birim zamanda testerenin ilerleme hızı veya birim zamanda kesilen malzeme miktarı olarak tanımlanır. Birimi $\text{cm}^2/\text{dakika}$ veya m^2/saat 'tir. Kesim hızı pratikte aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$V = \frac{L \times H}{t}$$

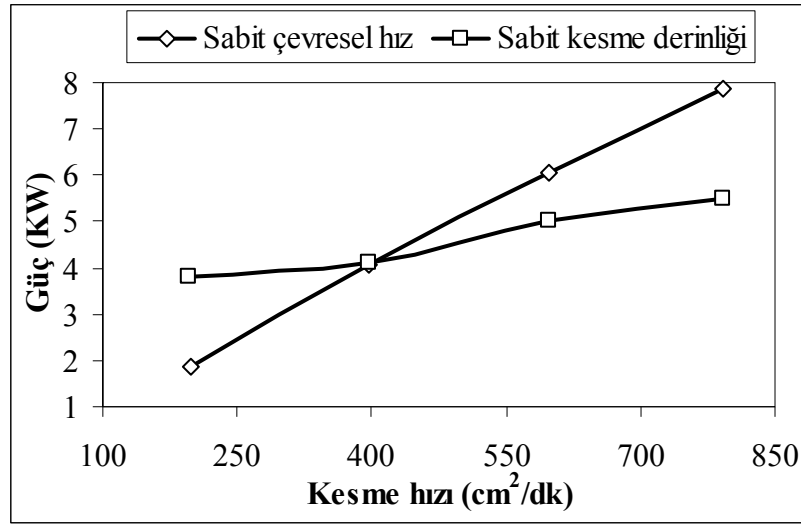
[12]

V : Kesim hızı (cm^2/dak), L : Blok boyu (cm), H : Blok yüksekliği (cm), t : Kesim süresi (dak)

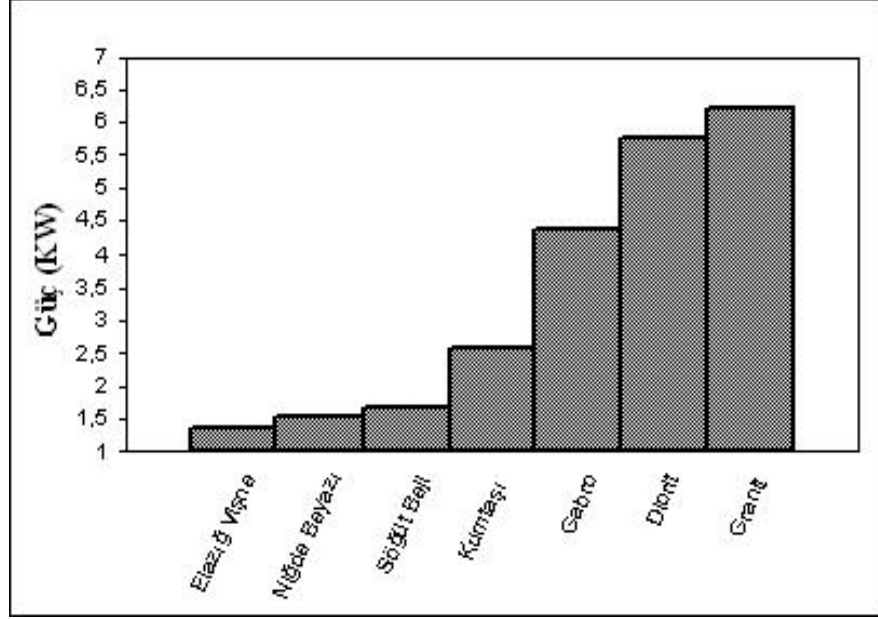
Kesme hızının yüksek olması, testerenin çabuk bitmesine, düşük olması ise testerenin körelmesine neden olur. Genellikle, testere ömrü düşük kesme hızlarında daha uzun olmaktadır. Kesme hızı, kesme derinliği ve çevresel hız tarafından kontrol edilmektedir. Yüksek çevresel hız, sık kesme derinliğinin uygulanmasıyla, kesici üzerine gelen yükleri azalmaktadır. Kesme hızının çevresel hız ile artırılması, kesme derinliğinin sabit tutulması ile kesici yüklerini çok az etkilemektedir. Ayrıca, çevresel hızın sabit tutulması kesme derinliğinin artırılması, kesici yüklerini arttırmaktadır (Şekil 2.10).

Testerinin üzerine bağlandığı makine yeterli motor gücüne sahip olmalı ve mil tam olarak merkezlenmelidir. Çeşitli kaya kesimleri için gerekli ortalama güç tüketimleri Şekil 2.11'de sunulmuştur.

Genelde, sert ve dayanımı yüksek olan mermerler daha fazla güç gerektirmektedir. Kesimleri zor olan kayalar testereleleri daha fazla aşındırmaktadır. Testerinin çevresel hızı, kesilecek taşın sertliği, dayanımı ve aşındırıcılık özelliği göz önüne alınarak seçilmelidir. Çevresel hız, testere ömrünü önemli ölçüde etkiler. Farklı malzemelerin kesimi için farklı çevresel hızlar gerekir. Çevresel hız, kesici ömrünün ve kesme hızının optimum olmasını kontrol etmektedir. Örneğin, yüksek kuvars içeren kesimi zor olan granitler düşük kesici devri (25 m/sn) gerektirirken, kumtaşı gibi kesimi kolay olan malzemeler daha yüksek devir (60 m/sn) gerektirmektedir.

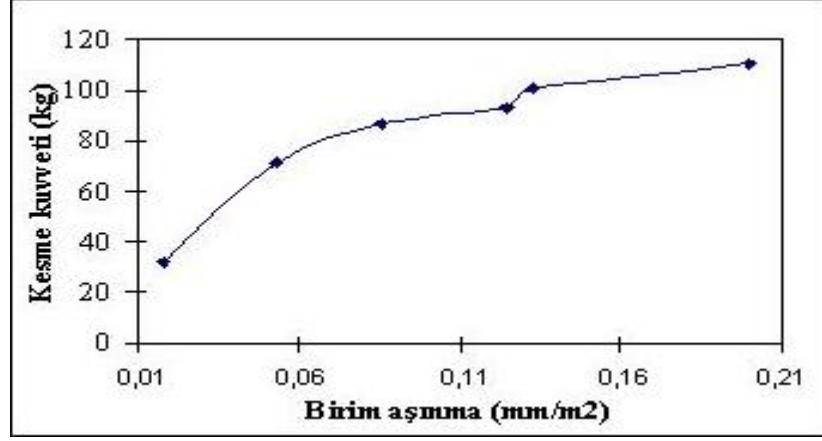


Şekil 2.11. Sabit çevresel hız ve sabit kesme derinliğinde kesme hızı ile güç arasındaki ilişki (Ersoy ve Atıcı, 1999).



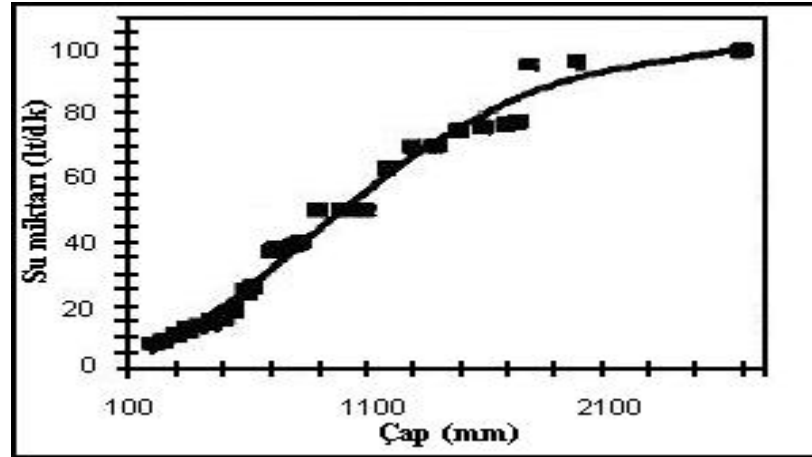
Şekil 2.12. Elmaslı dairesel testere ile çeşitli kaya kesimlerindeki ortalama güç tüketimi (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Testere kesici yüklerinin (yatay ve dikey), kesim sırasında oluşan kuvvetlerin yük algılayıcıları tarafından grafiksel veya sayısal olarak kaydedilmesi gerekmektedir. Kesme yükleri ile kesme hızı ve çevresel hız arasında bir ilişki mevcuttur. Kesme kuvvetleri, testere aşınmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu ilişki, Şekil 2.12'de verilmiştir. Genelde, kesme kuvvetleri arttıkça, aşınma artmaktadır. Sert ve dayanımı yüksek olan malzemeler yüksek kesme kuvveti gerektirmektedir. Mermer, traverten, alçıtaşı orta sertlikteki kayalarla, kumtaşı ve suni mermer gibi aşındırıcılık özelliğine sahip malzemelerin kesiminde kesme (bıçak) derinliği bir kesimde tamamen verilebilir. Ancak sert malzemelerin kesiminde (granit, diyabaz gibi) kesilecek parçalar 3cm'den derin ise kademeli kesim yapılır. Kesim sert taşlarda 8 mm ve 20 mm'lik derinlik kademeleriyle yapılması gerekir. En son kesim aşamasında yine testerenin malzemenin altında en az 25 mm taşmasına dikkat edilmelidir. Kesim derinliği, malzeme sertliği, dayanımı ve kullanılan testerenin dizayn özelliklerine bağlıdır.



Şekil 2.13. Çeşitli kayaların kesiminde dairesel testerelerin aşınması ve kesme yükleri ile ilişkisi (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Soğutma suyunun görevi testereyi soğutmak ve kesilen malzeme parçacıklarının kesme noktasından uzaklaştırmaktır. Soğutma suyu testerelerin her iki yanından, flanşın hemen altından ve gerekirse testerenin tam karşısından bolca verilmelidir. Dairesel testerelerin su ihtiyacı ile çapları arasındaki ilişki Şekil 2.13'de gösterilmiştir. Çap arttıkça verilen su miktarı da artmaktadır.

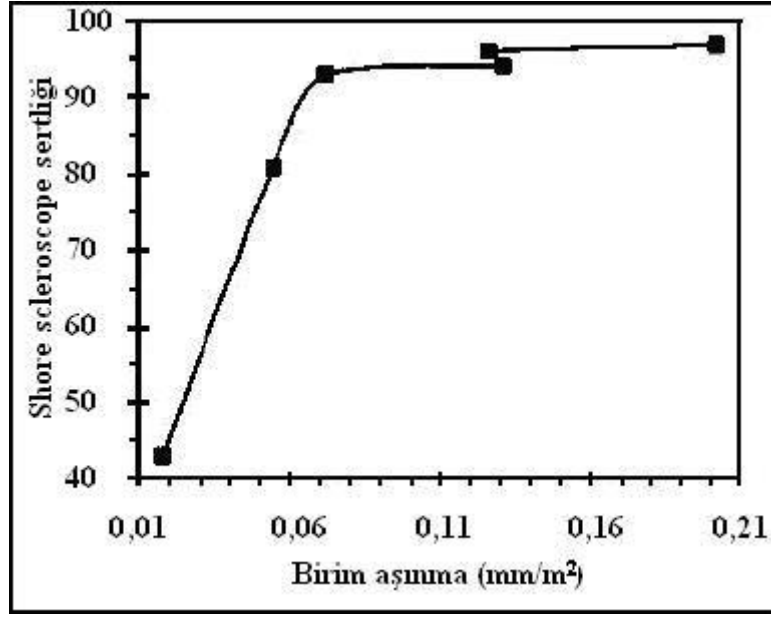


Şekil 2.14. Elmalı dairesel testerelerin çapları ile su ihtiyacı arasındaki ilişki (Ersoy ve Atıcı, 1999).

2.2.1.3. Kaya Özelliklerinin Etkileri

Kaya özellikleri sertlik, aşındırıcılık, dayanım ve mineral içeriği gibi parametreler testere aşınmasını ve verimini birincil derecede etkilemektedir. Çünkü kesim sırasında,

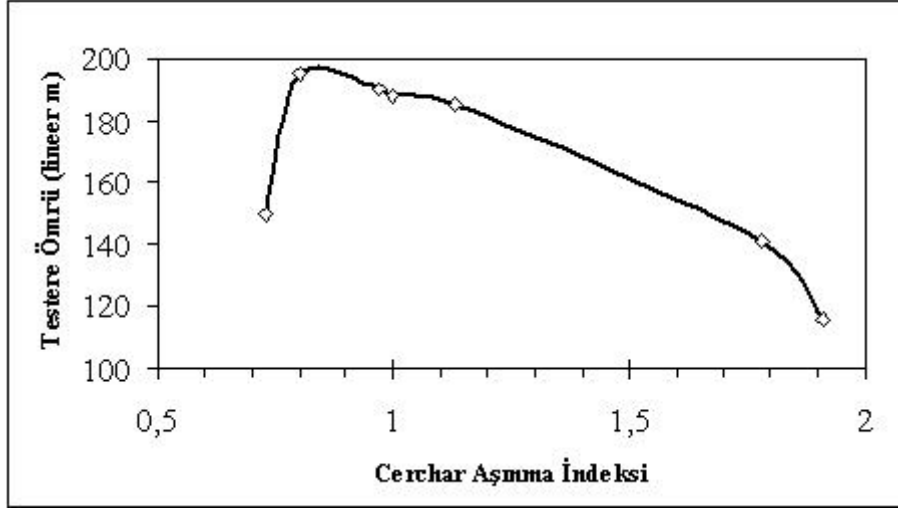
kaya ile testere sürekli kontak halindedir. Kesilebilirlik ve testere aşınmalarında kaya sertliğini temsil etmek üzere özellikle çeşitli sert kayalar için Shore Scleroscope sertliğinin, testere aşınması üzerindeki etkisi Şekil 2.14’de gösterilmiştir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi kayaların Shore sertliğinin artmasıyla, testere aşınması artmaktadır.



Şekil 2.15. Çeşitli kayalar için, Shore Scleroscope sertliğinin dairesel testere aşınması ile ilişkisi (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Kayaların tek eksenli basma dayanımları ile testere aşınma miktarları arasında kuvvetli bir ilişki olmamasına rağmen, genel yaklaşım, dayanımın artması ile aşınmanın da artması şeklindedir. Bu durum, tek bir kaya özelliğinin kesilebilirliği ve testere aşınmasının modellenmediğini göstermektedir.

Mermerlerin aşındırıcılığını temsil etmek amacıyla, Cerchar Aşınma İndeksi ile testere ömrü arasındaki ilişki Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi, aşındırıcılık indeksinin artması, testere ömrünü azaltmaktadır. Cerchar Aşınma İndeks ölçümleri "mineral sertlikleri" ve "aşındırıcı mineral içerikleri" tarafından (toplam silisyum içeriği) önemli ölçüde etkilenmektedir. Sertlik faktörleri, magmatik kayaların Cerchar ölçümlerinde, "aşındırıcı mineral içeriği" faktörü ise sedimanter kayaların Cerchar deneylerinde önemli rol oynamamaktadır.



Şekil 2.16. Mermer kesimlerinde Cerchar Aşınma İndeksi ile testere ömrü arasındaki ilişki (Ersoy ve Atıcı, 1999).

Genelde kayaların kuvars ve silikat içeriğinin artması (özellikle sert kayalar için) testerelelerin aşınmasını hızlandırmaktadır. Kuvars içeriği belirli bir dönem için testereleleri keskinleştirmekte, bilevlemekte ve kesme hızını arttırmaktadır. Ancak ileri aşamalarda testereleleri aşındırarak ömürlerini bitirmektedir.

3. DENEY DÜZENEĞİ VE MALZEME

3.1. Deney Düzeneği

Deneysel alışmalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü mermer laboratuvarında, bilgisayar kontrollü otomatik yan kesme makinesinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan otomatik yan kesme makinesi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan otomatik yan kesme makinesi(genel görünüm)

Kesme makinesinde kesme kulesi üzerinde yer alan testere, kesme derinliğini ayarlayabilmek için düşey düzlemde yukarı-aşağı ve kesilen dilim kalınlığını ayarlayabilmek için de yatay düzlemde ileri-geri hareket edebilmektedir. Diğer taraftan, kesme işleminin gerçekleşmesi için testerenin düşey düzlemde sağa-sola hareketi yerine, kesilecek parçanın (ergonomik boyutlarda olacak şekilde) hareket ettirilmesi makinenin daha kolay tasarımılandırılmasına neden olmuştur. Bu makinede kesilecek numunenin konulduğu tablanın alt bölümüne özel olarak tasarımılandırılan bir zincir-dişli ark

düzeneği kurularak, tablanın yatay ilerleme hareketi mekanik olarak sağlanılmıştır. Böylece, hareketin düzgün ve darbesiz olması temin edilmiştir.

Tabla hareketi kesme tablasının baş ve son kısmına konulan iki adet çarktan baş kısımdaki çarka redüktörle bağlanmış 0,75 KW'lık bir asenkron motorla sağlanılmıştır. Kesme deneyleri esnasında su debisinin ölçülmesi için debi ölçer cihaz yerleştirilmiştir.

Kesme grubu makinedeki kolon üzerine kızaklarla yataklanmış olup, testerenin yatay düzlemde ileri-geri ve düşey düzlemde yukarı-aşağı hareketi iki adet 0,75 KW gücünde asenkron motorla sağlanmıştır. Makine üzerine maksimum $f = 400$ mm çaplı bir testere takılması mümkün olup, bunun için 4 KW'lık bir asenkron motor monte edilmiştir.

Makinenin tüm hareketleri ile düşey testerenin çevresel hızı ve kesme tablasının ilerleme hızının istenen sınırlarda kademesiz olarak düzenlenmesi bilgisayar aracılığı ile sağlanmaktadır. Testere ve tabla hızlarının düzenlenmesinde invertörlerden yararlanılmıştır. Testerenin ve tablanın hızını kontrol amacıyla, 5 HP 'lik üç adet invertör seçilmiştir. Bu hız kontrol cihazları sayesinde motor devirlerinde 0-5000 dev/dk'lık bir sınır aralığında düzenleme sağlanılmıştır.

Testerinin düşey ve yatay düzlemdeki hareketi ve tabla hareketinin başlangıç-bitiş noktalarının belirlenmesi amacıyla sınır noktalarına toplam 6 adet metal algılayıcı sınır anahtarı (endüktif sensör) yerleştirilmiştir. Ayrıca, testerenin yatay ve düşey düzlemdeki konumunu sayısal olarak belirlemek için iki adet sensör de bu hareketi sağlayan motorların miline bağlı kanatların alt kısımlarına monte edilmiştir. Bu kanatların her aralığı 1 mm ilerlemeye karşılık gelmektedir.

Testerinin dönüş hızının istenilen değerde olup olmadığını denetlemek için bir encoder ve tablanın ilerleme (kesme) hızının uygunluğunu kontrol etmek için ise takogeneratör kullanılmıştır. İvertörler testerinin çevresel hızının 0-85 m/sn ve tabla ilerleme hızının 0-50 mm/sn arasında istenilen kademelerde ayarlanmasını mümkün kılar. Encoder ve takogeneratörle de bunların doğruluk ve hassasiyeti kontrol edilir.

Kesme işlemi sırasında oluşan üç boyutlu (düşey-yatay-eksenel) kuvvetlerin ölçülmesinde Load Cell'ler kullanılmıştır. Düşey yükün büyüklüğü dikkate alınarak 100 kgf (1000 N)'lık platform tip Load Cell tercih edilmiştir. Bunun en büyük avantajı, platformun çeşitli noktalarından uygulanabilecek yüklerin tam orta noktadan algılanabilmesidir. Yatay ve eksenel yüklerin ölçülmesinde ise 50 kgf (500 N)'lik birer Load Cell kullanılmıştır.

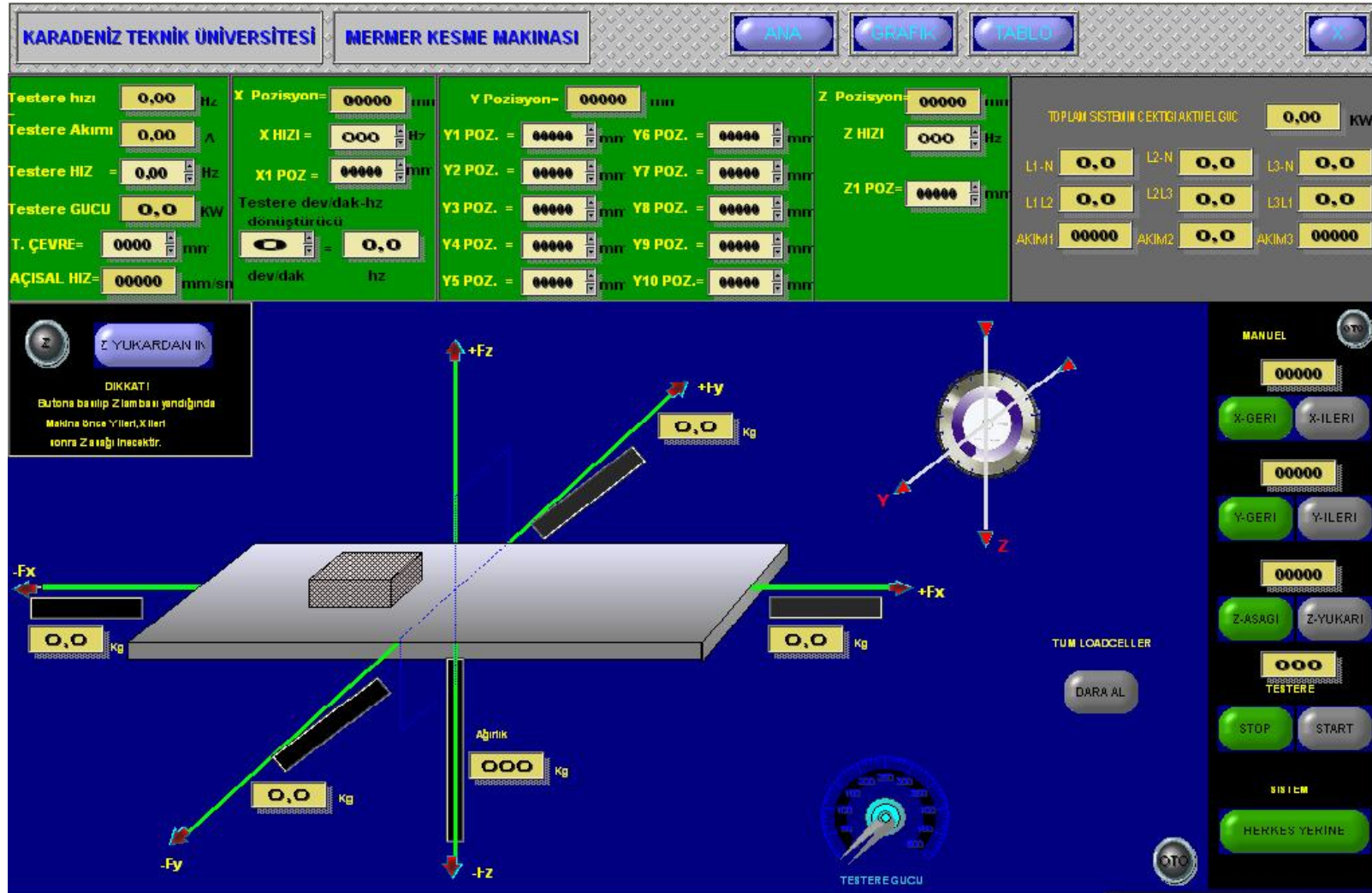
Kesme tablasının üst kısmına düşey yük ölçmede kullanılacak tartma platformu monte edilmiştir. Bu platformun üzerine numunenin sürtünme kuvvetini en aza indirmek amacıyla 30 cm boyunda, özel alaşımlı çelikten imal edilmiş üç adet silindirik ($f = 10$ mm) tambur yataklanmıştır. Ayrıca, numuneye yanal destek vermesi amacıyla sürtünme kuvvetini de en aza indirecek 2 adet tekerlek 20 cm aralıklarla platforma dik olarak yerleştirilmiştir. Bunların yanı sıra, kesme düzlemine dik ve paralel olacak şekilde L tipi Load Cell'de tablanın ön ve yan kısımlarına monte edilmiştir.

Makinenin otomasyonunun ana birimlerinden birisi de makine üzerine yerleştirilmiş olan tüm motorların, sensörlerin, load cellerin, encoder ve takogeneratörün kontrolünü sağlayacak PC (kişisel bilgisayar) ve endüstriyel kontrol kartlarıdır. Otomasyonun en önemli donanımlarından olan Dijital I/O kartı ise, 16 dijital giriş, 16 dijital çıkış ve 16 analog giriş, 2 analog çıkış ile bir counter girişine sahiptir. Bütün mekanik ve elektronik donanımın PC ile iletişimini ve kontrolünü PLC adı verilen elektronik cihaz ile sağlanmaktadır.

Movicon yazılımı ile PC'den veri girişleri yapılabilmektedir. Şekil 3.2'de bu yazılımın ana menüsü görülmektedir. Ana menüde kesme sırasında oluşan yükler, diskin konumu ve otomasyonun durumu her an gözlenebilmektedir. Ayrıca, ana menü içerisindeki bölümlerde deneylerde kullanılacak olan kesme parametrelerinin alması gereken değerler klavye aracılığıyla düzenlenebilmektedir. Bu bölümlerden ilki deneyin hangi sabit değerlerde yapılacağını gösteren bölüm, diğeri ise değiştirilecek olan testere dönüş hızı, tabla (kesme) hızı ve kesme derinliklerinin alması gereken değerleri gösteren bölümdür.

Deneylerde sabit değerler önceden menüye girilir ve y eksenine testerenin yatay düzlemdeki ilerleme hareketi verilir. Kesme esnasında y düzlemindeki ilerleme en son değere geldiği zaman makine otomatik olarak durur.

Ana menüye bağlı manuel kontrol ve veri menüleri bulunmaktadır. Manuel kontrol yardımcı menüsünde diskin ve tablanın konumu istenilen noktaya el kumandası ile getirilir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.2. Kesme makinesi ana ekran görünümü



Şekil 3.3. Manuel kontrol panosu

Veri yardımcı menüsünde ise kesilen taşın cinsi ve her deneye ait değerlerin yanı sıra, kesme sırasında her yarım saniyede bir oluşan Düşey (FY), Yatay (FX), Eksenel (FZ) kuvvetlerin sayısal değerleri kgf cinsinden % 1 hassasiyetle gözlenebilmekte ve data dosyası olarak kaydedilip istenildiğinde geri çağırılabilir.

Ana menüdeki diğer yardımcı butonlar ise home (herkes yerine), otomatik ve stop butonlarıdır. Hangi konumda olursa olsunlar, Home butonu testere ve tablanın başlangıç konumlarına getirilmesinde kullanılır. Otomatik butonu ise pc ana menü üzerinden istenilen düzenlemeleri yapılmış deneylerin 10'ar adedinin otomatik olarak operatör kumandasına gerek kalmaksızın yapılmasını sağlar. Stop butonu ise herhangi bir nedenle makinenin durdurulması gerektiğinde tüm fonksiyonların durmasını sağlar. Otomasyon programından çıkmak için ise ana menüde X butonu kullanılır.

3.2. Sayısal Verilerin Elde Edilmesi ve İşlenmesi

Kesme deneyleri sırasında saniyede iki adet değer alınarak elde edilen Düşey (FY), Yatay (FX) ve Eksenel (FZ) kuvvetlerin oluşturduğu veri grupları yazım tarafından Microsoft Office Excel dosyalarına dönüştürülerek kaydedilir.

3. 3. Malzeme

Deneysel çalışmalarda İkizdere (Rize), Harşit (Giresun) ve Vizon (Giresun) granitleri kullanılmıştır (Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan örnekler. Soldan itibaren Rize İkizdere graniti, Giresun Harşit graniti ve Giresun Vizon graniti

Kullanılan kayaların temel fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan granitlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Tüdeş, 1994; Çapık, 2008; Ersoy ve Atıcı, 2004).

Özellik	Rize İkizdere Graniti	Giresun Harşit Graniti	Giresun Vizon Graniti
Çekme Dayanımı (MPa)	11,26	14,01	7,9
Basınç Dayanımı (MPa)	130,00	221	168
Eğilme Dayanımı (MPa)	16,17	20	19,4
Yüzey Aşındırma Direnci (%)	13,12	14,36	4
Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³)	12,00	52,5	10
Doluluk Oranı (%)	98,65		
Ultrasonik Hız (m/sn)	4148,28	4060	

Deneysel boyutları 1,5–2–2,5–3 x 10 x 50 cm (kalınlık x genişlik x uzunluk) olan örnekler kullanılmıştır. Kullanılan örnekler İGDAŞ Madencilik (Giresun Harşit graniti), Rize ili İkizdere ilçesi Güneysu yöresi (Rize İkizdere graniti) ve Giresun ili Bulancak ilçesi Derecikalan Köyü yöresinden (Giresun Vizon graniti) toplanmıştır.

3.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Testere

Deneysel çalışmalarda 400 mm çapında, 2,8 mm gövde kalınlığında ve flanş çapı 160 mm olan dar yuvalı anahtar delikli dairesel testere kullanılmıştır (Şekil 3.5.). Bu testerenin üzerine 28 adet elmas soket kaynaklanmıştır. Soket imalinde elmasların genellikle tane boyutları 50/60, 40/50, 30/40 US mesh aralığında olup, karışım içerisindeki elmas konsantrasyonu ise % 35, % 34 ve % 28'dir (1.54, 1.50 ve 1.23 karat/cm³).

Deneysel çalışmalarda kullanılan elmas soketler (Şekil 3.6.) 50/60 mesh tane boyutunda, %30-40 oranında elmas yüzdesine sahip ve matriks içeriğinde demir, kobalt ve bakır bulunmaktadır.



Şekil 3.5. Elmas soketli dairesel testere



Şekil 3.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan elmas soket

3.5. Deney Çalışmaları

Deneysel çalışmalarda 4 çalışma parametresinin değişimi incelenmiştir. Bu değişkenler testere hızı, tabla hızı, kesme derinliği ve su debisidir. Her bir değişken için beş farklı deneysel çalışma tasarlanmıştır. Deneysel çalışmalar esnasında izlenen değişkenler ve bunlara ait değer ya da değer aralıkları Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Deney 1’de testere hızı değiştirilip diğer parametreler sabit tutulmuştur. Bu deneyde amaç farklı hızlardaki testere hızı ile kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi incelemektir. Deney 2’de ise kesme derinliği değiştirilip diğer parametreler sabit tutulmuştur. Bu deneyde farklı kesme derinliklerinin kesme kuvvetiyle olan ilişkisi araştırılmıştır. Deney 3’de tabla hızı değiştirilip diğer parametreler sabit tutulmuş ve tabla hızı değişiminin kesme kuvvetiyle ilişkisi incelenmiştir. Deney 4’de ise soğutma suyu debisi değişiminin kesme kuvveti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışılan değişkenler ve bunlara ait değerler aşağıda açıklanmaktadır

1. Testere hızı: Deneysel çalışmalar 1500, 1600, 1700, 1800 ve 1900 dev/dak testere hızlarında gerçekleştirilmiş ve kesme derinliği, tabla hızı ve su debisi sabit tutulmuştur. Diğer parametreler sabit tutulup testere hızının artmasıyla uygulanan baskı kuvvetinin değişimi araştırılmıştır.
2. Kesme Derinliği: Deneysel çalışmalarda 5, 10, 15, 20 ve 25 mm kesme derinlikleri kullanılarak kesme derinliği ile kesme kuvveti arasındaki değişim incelenmiştir.

3. Tabla Hızı: Besleme hızı olarak da adlandırılan tabla hızı değişiminin incelenmesinde 2, 3, 4, 5 ve 6 mm/sn değerleri çalışılmıştır.
4. Soğutma/temizleme Suyu Debisi: Deneysel alışmalar esnasında soğutucu olarak su kullanılmıştır. Kullanılan su kesme işlemi esnasında kayaçtan kopan kırıntı boyutundaki malzemelerin kesme ortamından uzaklaştırılması ve testerenin soğutulması işlevini gerçekleştirir. 150, 200, 250, 300 ve 350 ml/dk debilerinde deneyler yapılmıştır.

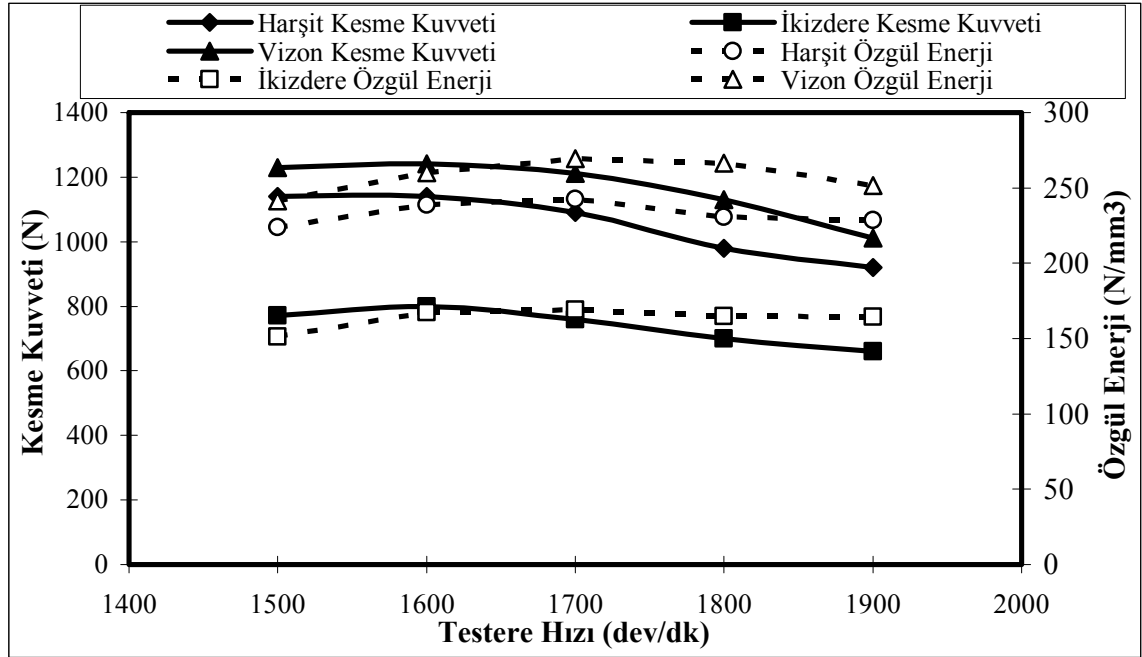
Tablo 3.2. Deney tasarımı

Deney 1				Deney 2			
Tes. Hızı (dev/dk)	Tabla Hızı (mm/sn)	Kes. Derinliği (mm)	Su Debisi (ml/dk)	Tes. Hızı (dev/dk)	Tabla Hızı (mm/sn)	Kes. Derinliği (mm)	Su Debisi (ml/dk)
1500	4	10	300	1800	4	5	300
1600	4	10	300	1800	4	10	300
1700	4	10	300	1800	4	15	300
1800	4	10	300	1800	4	20	300
1900	4	10	300	1800	4	25	300
Deney 3				Deney 4			
Tes. Hızı (dev/dk)	Tabla Hızı (mm/sn)	Kes. Derinliği (mm)	Su Debisi (ml/dk)	Tes. Hızı (dev/dk)	Tabla Hızı (mm/sn)	Kes. Derinliği (mm)	Su Debisi (ml/dk)
1800	2	10	300	1800	4	10	150
1800	3	10	300	1800	4	10	200
1800	4	10	300	1800	4	10	250
1800	5	10	300	1800	4	10	300
1800	6	10	300	1800	4	10	350

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Testere Hızı Değişimi

Deneysel çalışmalarda kesme hızı ile kesme kuvveti arasındaki ilişki beş farklı testere hız değeri kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca kesme performansı ve kesilebilirlik üzerinde etkin parametre olan Özgül Enerji (SE) değerleriyle kesme kuvveti arasındaki ilişki de incelenmiştir. Kesme hızı değerleri, yapılan ön çalışmalar neticesinde 1500, 1600, 1700, 1800 ve 1900 dev/dk. olarak belirlenmiştir. Şekil 4.1’de Giresun Harşit graniti, Rize İkizdere graniti ve Giresun Vizon graniti için kesme hız değişimi ile kesme kuvveti (F_z) ve özgül enerji arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Kesme kuvveti ve özgül enerjinin kesme hızına bağlı değişimi.

Şekil 4.1 incelendiğinde her üç granit türü için de testere hızının artmasıyla kesme kuvvetinin azaldığı gözlenmektedir. 1600 dev/dak hıza kadar yaklaşık olarak sabit bir gidiş gösteren kesme kuvveti 1600 dev/dak'dan sonra azalma eğilimi göstermişlerdir. Artan kesme hızı ile kesme kuvvetinin azalması başlıca sabit tabla hızında diskin kayaca girmesi

ve kayaç içinde ilerlemesi sırasında kesme hızının arttırılmasıyla diskin kesilen kayaç ile temasının azalmasının bir sonucudur. Yani diskin yüksek dönüş hızlarında kesme tablası üzerindeki örnek (numune) yavaş bir hızla diske yaklaşır ve kayaç-disk teması azalmaya başlar. Başka ifadeyle kayacın diske uygulayacağı baskı azalır. Ters durumda ise, yani, daha düşük kesme hızlarında soketlerin temas ettiği kayaç yüzey alanı daha fazla olacağı için kayacı kesmek için uygulanan kuvvet daha yüksek olacaktır.

Şekil 4.1’de çalışılan kayaçlar için kesme hızı-kesme kuvveti ilişkisine bağlı olarak özgül enerji (specific energy, SE) değişimi görülmektedir. Çalışılan her üç granit türü için de 1700 dev/dak testere hızına kadar özgül enerji değerlerinde nicel bir artış gözlenmektedir. 1700 dev/dak’dan sonraki kesme hızlarında ise üç granit türü için de özgül enerji değerlerinin azalma ve/veya sabit kalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu azalma kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı olarak azalmasıyla açıklanabilir.

Gerek kesme kuvveti gerekse de özgül enerji değişimleri incelendiğinde (Şekil 4.1.) testerenin çekmiş olduğu güç, düşük kesme kuvveti, maksimum verim ve testere ömrü dikkate alındığında çalışılan kayaçlar için ideal testere hızının 1800 dev/dk. olduğu söylenebilir. Kesme hızının arttırılması durumunda kayacın diske teması giderek daha fazla azalması beklenir. Kayacın diske temas ettiği anlarda oluşacak pikler hariç tutulduğunda azalan ya da sabit kalan kesme kuvveti ve özgül enerji değerleri elde edilir.

4.2. Kesme Derinliği Değişimi

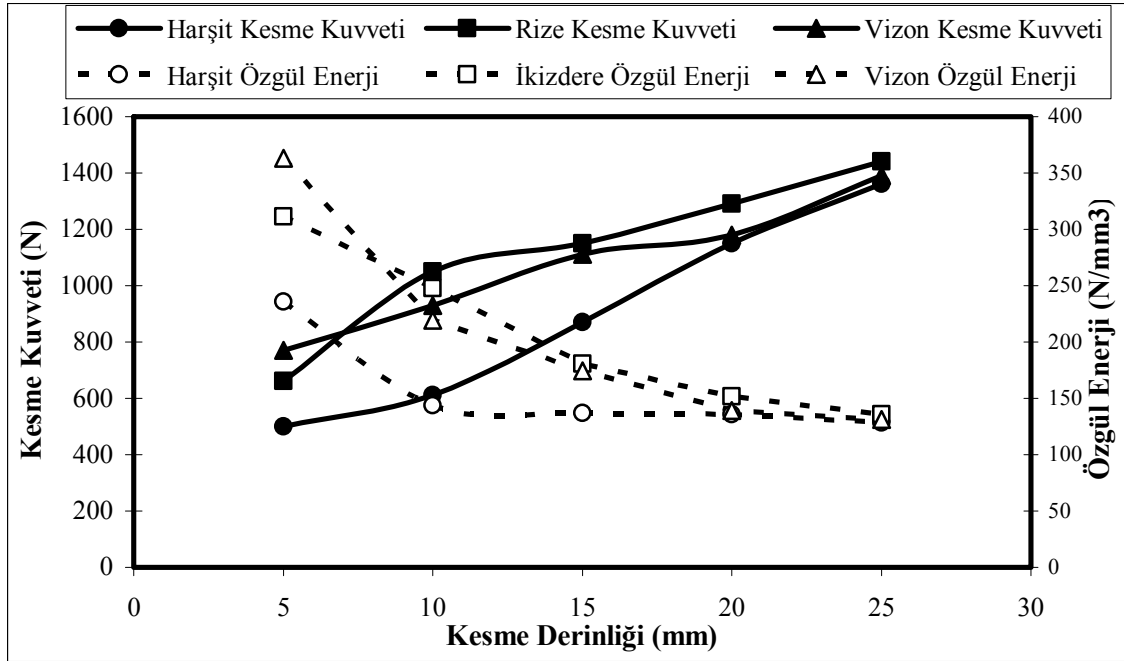
Kesme derinliği kesme kuvvetini kontrol eden en önemli parametre olarak genel kabul görmüştür. Testere, tabla ve su debisi değerlerinin sabit tutulduğu bir kesme işleminde kesme derinliği arttıkça uygulanacak kesme kuvveti de artar. Bu artış başlıca kesme sırasında oluşan kırıntıların ortamdaki uzaklaştırılmasında karşılaşılan zorluğa da bağlı olarak diskin ve soketlerin iki yandan da baskıya maruz kalmasının sonucudur.

Yapılan deneysel çalışmalarda 5, 10, 15, 20 ve 25 mm kesme derinliği değerleri kullanılmıştır. Deneysel kesme derinliğinin 20 mm ve daha fazla olduğu bazı durumlarda disk örnek içinde kilitlenmiş ve makine durmuştur. Endüstriyel kesme süreçlerinde kesme derinliğinin 20 mm’yi aştığı durumlarda kesmenin kademeli olarak yapılması yaygın bir uygulamadır (Ersoy, A. vd., 2005). 20 mm ve daha fazla kesme derinliklerinde kesme işlemini gerçekleştirebilmek için tabla hızının azaltılması veya kesme hızının arttırılması da uygulanabilir alternatiflerdendir. Aksi durumda diskin kayacın içerisinde sıkışması ve

bağlı olarak disk ve/veya makinenin hasar görmesine söz konusu olacaktır. Çalışılan kayaçlardan İkizdere granitinin 20 mm ve 25 mm kesme derinliklerindeki kesimi sırasında disk sıkışması durumu yaşanılmıştır (Şekil 4.2.).

Şekil 4.2’de kesme derinliğine bağlı olarak kesme kuvveti değişimi gösterilmektedir. Her üç granit türü için de kesme derinliğinin artmasına paralel olarak kesme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi kesme derinliğinin 20 mm ve daha fazla olduğu durumlarda İkizdere granitinde disk sıkışmasına bağlı olarak makine durması sorunu ile karşılaşmıştır. 20 mm ve 25 mm kesme derinliği değerlerinde kesme deneyleri 3’er defa tekrarlandıktan sonra numunenin orta noktasından kesme işlemine devam edilerek kesme tamamlanmıştır.

Endüstriyel çaplı uygulamalarda dairesel testerele kesme makineleri ile yapılan kesme işlemlerinde plaka kalınlığı genel olarak 10–30 mm arasında değişir. Bu nedenle kesilecek kayacın kalın olması durumunda yiv adı verilen yatay sıralı kesimler yapılarak istenilen kalınlıkta plakalar üretilir. Açılan yatay yivlerin kesme derinliği 10–15 mm arasında değişir.



Şekil 4.2. Kesme kuvveti ve özgül enerjinin kesme derinliğine bağlı değişimi

Şekil 4.2. üç kayaç için özgül enerjinin kesme derinliğine bağlı değişimlerini göstermektedir. Grafikten görüleceği gibi her üç granit için de kesme derinliğinin

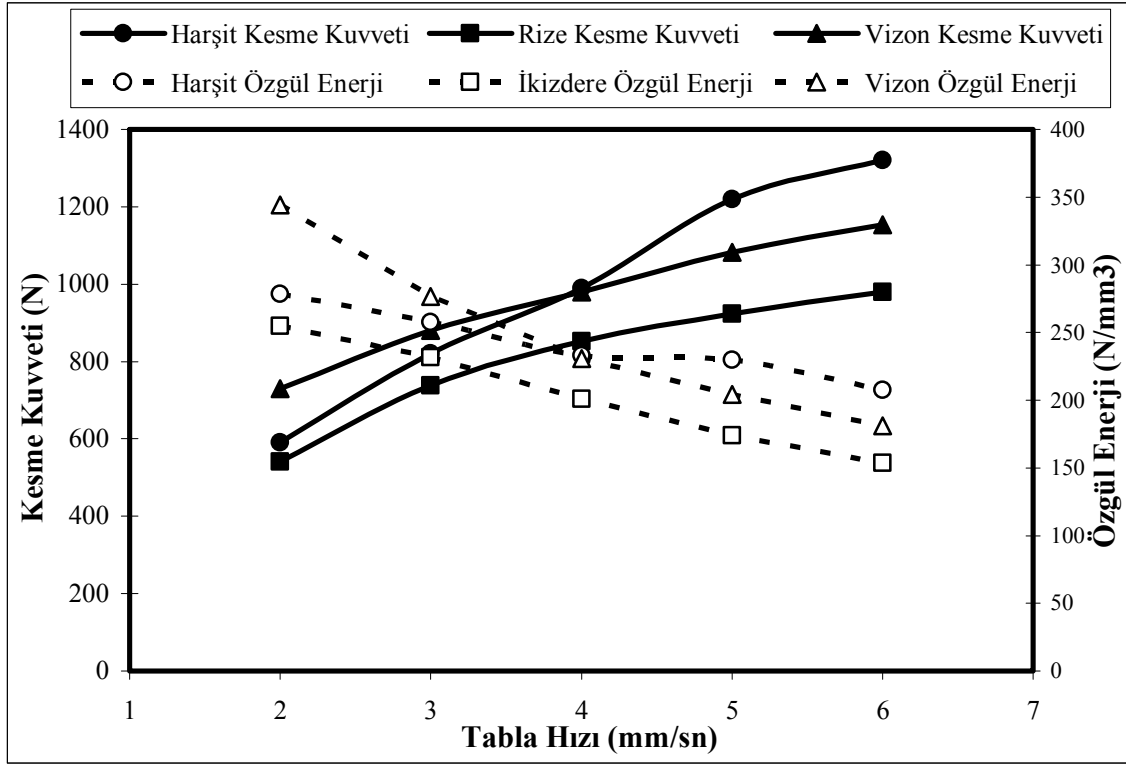
artmasına paralel olarak özgül enerji azalma göstermektedir. 5–15 mm aralığında ve özellikle 10 mm'ye kadar izlenen keskin düşüşü takiben her üç granitte de nispeten sabit kalma eğilimi gösteren bir değişim söz konusudur.

Özgül enerji ve kesme kuvveti değişimleri birlikte değerlendirildiğinde 15–20 mm aralığında sonraki derinliklerde kesme yapma kararını belirleyen ölçütün kesme kuvveti olduğu söylenebilir. Çünkü daha önce de bahsedildiği gibi uygulanan kesme işleminin mekaniği dikkate alındığında derinlik artışının disk sıkışmasına da neden olması kuvvetli bir olasılık haline gelmektedir. Yine daha önce söylendiği gibi tabla hızının azaltılması gibi bazı önlemler bu olasılığı ortadan kaldırabilir ise de genel pratikte 30 mm'yi aşan derinliklerde kesme potansiyel sorunlar içeren bir süreç olacaktır. Kesilen kayaçlar için optimum kesme derinliği olarak 15 – 20 mm değerleri kabul edilebilir.

4.3. Kesme Tablası Hızı Değişimi

Gerçekleştirilen ön çalışmalar sonucunda 2, 3, 4, 5 ve 6 mm/sn değerleri tabla hızı olarak belirlenmiştir.

Kesme tablası hızı kesme işlemini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Tabla hızı kesilecek olan kayacın diske yaklaşma hızını ifade eden bir parametredir. Disk dönüş hızının sabit tutulduğu durumda yüksek tabla hızları kayacın disk-kayaç değme noktasında yüksek baskılar oluşturmasına neden olur. Bu aslında kesme kuvvetinin artması demektir. Yüksek tabla hızlarında tabla ileri doğru (diske doğru) gitmek isterken testere bu ilerleyişe karşı koyar ya da kısıtlar. Tersine durumda yani düşük tabla hızlarında ise kayacın disk ile buluşması daha yavaş gelişir. Kayacın diske uyguladığı baskı diskin dönüş hareketi ile daha kolay yenebileceği değerlerdedir. Bu ise daha düşük kesme kuvveti değerlerinin elde edilmesine sebep olur.



Şekil 4.3. Kesme kuvvetini ve özgül enerjinin tabla hızına bağlı değişimi

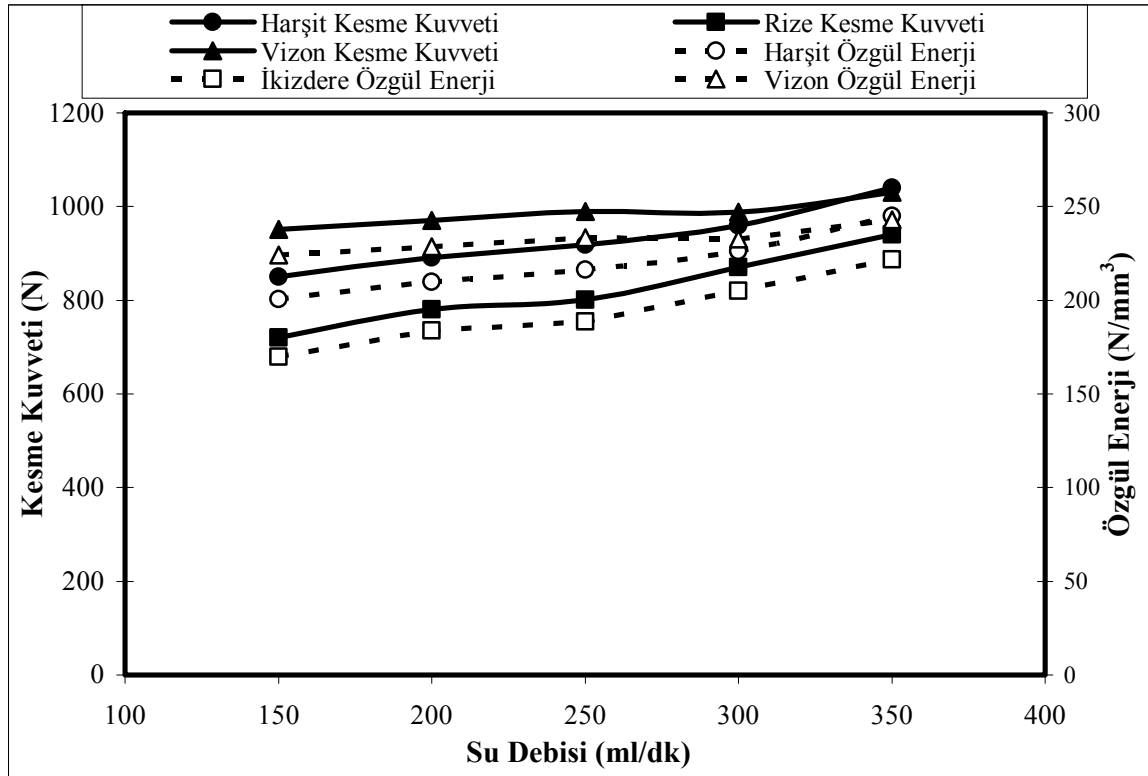
Şekil 4.3'te tabla hızı değişiminin sonucu olarak kesme kuvveti değişimi verilmektedir. Grafikte tabla hızının artmasıyla İkizdere ve Vizon granitlerinde elde edilen kesme kuvvetlerinde parabolik bir artış eğilimi görülmektedir. 4 mm/sn'den sonra her iki kayaç için de kesme kuvveti yaklaşık doğrusal bir artış göstermektedir. Ancak 4 mm/sn tabla hızına kadar doğrusal bir artış gösteren Harşit granitinde 4-5 mm/sn aralığında genel eğiliminin aksine belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu aralıkta oluşan artış yaklaşık 230 N büyüklüğündedir. 5 mm/sn tabla hızından sonra da diğer kayaçların kesme kuvveti değerlerine benzer bir değişim eğilimi ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.3'te özgül enerjinin tabla hızına bağlı değişimini göstermektedir. Artan tabla hızına bağlı olarak her üç granit için de özgül enerji değerlerinde doğrusal bir azalma eğilimi gözlenmektedir. Harşit graniti için kesme kuvveti değişimine benzer bir değişim özgül enerji değişimi için de mevcuttur. Artan kesme derinlikleri soğutma-temizleme suyunun performansının da bir sonucu olarak soketlere etkiyen baskının daha fazla olmasına dolayısıyla da yüksek kesme kuvvetlerine neden olur.

Özgül enerji ve kesme kuvveti değişimleri birlikte incelendiğinde çalışılan üç kayaç için de kesme performansı açısından optimum tabla hızı değerinin 4 mm/sn olduğu gerçekleştirilen deneyler neticesinde belirlenmiştir.

4.4. Su Debisi Değişimi

Kesme sırasında kullanılan su iki temel işlevi yerine getirir. Kesme sırasında diskin soğutulmasını sağlamanın yanında kesme sırasında oluşan kırıntıları da ortandan uzaklaştırma için su kullanılır. Gerçekleştirilen deneme çalışmaları sonucunda kesme makinesinin ana trafosuna sonradan ilave edilen debi ölçer vasıtasıyla deneysel çalışmalar için su debisi sırasıyla 150, 200, 250, 300 ve 350 ml/dk olarak alınmış ve testere hızı, kesme derinliği, tabla hızı sabit tutularak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Kesme kuvveti ve özgül enerjinin su debisine bağlı değişimi

Şekil 4.4. Giresun Harşit graniti, Rize İkizdere graniti ve Giresun Vizon granitinde kesme kuvvetinin su debisine bağlı değişimi incelendiğinde özellikle 250 ml/dk'dan sonra üç granit türü için de lineer bir artış eğilimi gözlenmektedir. Bu lineer artış kırıntıların

ortamdan uzaklaştırılarak socketin daha düzgün ve temiz bir yüzeye temas etmesinden ve testerenin kayacı kesmek için yeterli baskıyı oluşturmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.4'te su debisine bağlı olarak özgül enerji değişimleri incelendiğinde üç kayaç için de su debisinin arttırılmasına paralel olarak özgül enerjinin lineer bir şekilde arttığı gözlenmektedir. Artış 250 ml'ye kadar nispeten daha dar bir aralıkta meydana gelmişken bu değerden sonra Vizon taşı hariç daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Kesme performansı ve testerenin ideal bir şekilde soğutulması açısından özgül enerji değerleriyle kesme kuvveti birlikte incelendiğinde 250 ml/dk'lık su debisi optimum su miktarı olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada üç farklı granit için dairesel testereli kesme süreçlerinde temel alınabilecek çalışma parametreleri belirlenmiştir. Kesme derinliği, kesme tablası hızı, disk çevresel hızı ve su debisi değişkenleri kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Her üç granit türü için de testere hızının artmasıyla kesme kuvvetinin azaldığı gözlenmektedir. 1600 dev/dak hıza kadar yaklaşık olarak sabit bir gidış gösteren kesme kuvveti 1600 dev/dak'dan sonra azalma eğilimi göstermiştir. Çalışılan her üç granit türü için de 1700 dev/dak testere hızına kadar özgül enerji değerlerinde nicel bir artış gözlenmektedir. 1700 dev/dak'dan sonraki kesme hızlarında ise üç granit türü için de özgül enerji değerlerinin azalma ve/veya sabit kalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu azalma kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı olarak azalmasıyla açıklanabilir. Gerek kesme kuvveti gerekse de özgül enerji değişimleri incelendiğinde testerenin çekmiş olduğu güç, düşük kesme kuvveti, maksimum verim, birim hacimdeki malzemeyi koparmak için gerekli enerji ve testere ömrü dikkate alındığında çalışılan kayalar için ideal testere hızının 1800 dev/dk. olduğu söylenebilir.
2. Her üç granit türü için de kesme derinliğinin artmasına paralel olarak kesme kuvveti artmaktadır. Kesme derinliğinin artmasıyla her üç granit türü için de özgül enerji değerleri 10 mm kesme derinliğine kadar izlenen keskin düşüşü takiben 15-20 mm kesme derinliği aralığında nispeten sabit kalma eğilimi göstermiştir. Özgül enerji ve kesme kuvveti değişimleri birlikte değerlendirildiğinde 15–20 mm aralığından sonraki derinliklerde kesme yapma kararını belirleyen ölçütün kesme kuvveti olduğu söylenebilir. Daha düşük kesme kuvvetleri oluşturarak kesme yapmak ekonomik anlamda da doğru bir yaklaşımdır. Dolayısıyla kesilen kayalar için optimum kesme derinliği olarak 15 – 20 mm değerleri kabul edilebilir.
3. Tabla hızının artırılması anlamı basitçe örneğin diskin dönüşüne karşı engelleyen bir kuvvet olarak etki göstermesidir. Tabla hızının artışı ile örnek daha hızlı bir şekilde diske doğru itilir. Bu da hız atışı ile birlikte diskin dönüşünü daha kuvvetli engellemeye çalışan bir etki olur. Dolayısıyla kesmeye

harcanan kuvvet artar. Deneysel çalışmalarda artan tabla hızı değerleri ile kesme kuvveti artarken özgül enerji azalmıştır. Tabla hızı artışının kesme kuvveti ve özgül enerji değerlerinin değişimi üzerindeki etkisi birlikte değerlendirildiğinde her üç kayaç için de ideal tabla hızının 4 mm/sn olduğu görülmüştür.

4. Kesme ortamında bulunan kırıntı malzemesinin çentikten uzaklaştırılması ve soğutma işlemi için kullanılan suyun akış hızının artırılması ile çentik içerisinde daha az miktarda kırıntı malzemesi bulunması neticesinden kayaca daha temiz ve düzgün bir yüzeyde kesme kuvveti uyguladığı gözlenmiş ve Fk kuvveti ile özgül enerji değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Kesme performansı ve harcanan su miktarı dikkate alındığında ideal su debisi 250 ml/dk olarak belirlenmiştir.

Çalışma özellikle İkizdere ve Harşit taşları için gerçekleştirilen ilk kesme çalışması olma özelliğine sahiptir. Mevcut çalışmanın özellikle bu iki taşın kullanılabilirliğini artırmaya yönelik girişimlere destek olmak üzere daha fazla sayıda numune ile tekrarlanması ve çalışılan değişkenler için daha fazla sayıda değer kullanılması kayaç davranışlarının yansıtılması açısından faydalı olacaktır. Ek olarak, genel olarak granitlerin kesme davranışlarının belirlenmesine yönelik olarak literatürde mevcut çalışmalar da temel alınarak fazla sayıda farklı kayaç ile kesme deneylerinin gerçekleştirilmesi gereklidir.

6. KAYNAKLAR

- Brook, B., 2002. Principles of Diamond Tool Technology for Sawing Rock, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 39, 41-58.
- Büyüksağış, I.S. ve Gökten, R.M., 2005. Investigation of Marble Machining Performance Using an Instrumented Block-Cutter, Journal of Materials Processing Technology, 169, 258-262.
- Büyüksağış, I.S., 1998. Dairesel Testerele Blok Kesme Makinelerinde Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 173 s.
- Büyüksağış, I.S., 2007. Effect of Cutting Mode on The Sawability of Granites Using Segmented Circular Diamond Sawblade, Journal of Materials Processing Technology, 183, 399-406.
- Chen, X. ve Rowe, B W., 1996. Analysis and Simulation of The Grinding Process. Part 2 Mechanics of Grinding, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 36, 883-896.
- Çapık, M., 2008. Harşit (Giresun) Granitlerinin Mermer Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Kaç sayfa 75 s.
- Delgado, N. Sánchez., Rodríguez-Rey, A., Suárez del Río, L.M., Díez Sarriá, I., Calleja, L. ve Ruiz de Argandoña, V.G., 2005. The Influence of Rock Microhardness on The Sawability of Pink Porrino Granite (Spain), International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42, 161-166.
- Ersoy, A. ve Atıcı, Ü., 1999, Mermer Kesicilerin Aşınma Mekanizmaları, Türkiye 16. Madencilik Kongresi ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, Ankara, 107-115.
- Ersoy, A. ve Waller, M.D., Wear Characteristics of PDC Pin and Hybrid Core Bits in Rock Drilling, Wear 188 (1995) 150–165.
- Ersoy, A., Büyüksağıç, S. ve Atıcı, Ü., 2005. Wear Characteristics of Circular Diamond Saws in The Cutting of Different Hard Abrasive Rocks, Wear 258, 1422–1436.
- Ertingshausen, W., 1983. Wear Processes in Sawing Hard Stone, Industrial Diamond Review, 45, 254-258.
- Eyüboğlu, A.S., Özçelik, Y., Kulaksız, S. ve Engin, I.C., 2003. Statistical and Microscopic Investigation of Disc Segment Wear Related to Swaing

Ankara Andasites, International Journal of Rock Mechanics & Mining Science, 40, 405-414.

- Gertsch, R., Gertsch, L. ve Rostami, J., 2007. Disc Cutting Tests in Colorado Red Granite: Implications for TBM Performance Prediction, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 44, 238–246.
- Gunaydin, O., Kahraman, S. ve Fener, M., 2003. Sawability Prediction of Carbonate Rocks from Brittleness Indexes, J. South Afr. Inst. Min. Metall, 104, 239-243.
- Kahraman. S., Fener. M. ve Günaydın, O., 2004. Predicting The Sawability of Carbonate Rocks Using Multiple Curcilinear Regression Analysis, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 41, 1123-1131.
- Kahraman, S., Altun, H., Tezekici, B.S. ve Fener, M., 2006. Swability Prediction of Carbonate Rocks from Shear Strenght Parameters Using Artificial Neural Networks, International Journal of Rock Mechanics & Mining Science, 43, 157-164.
- Konstanty, J., 2000. Diamond Bonding and Matrix Wear Mechanims Involved in Circular Sawing on Stone, Industrial Diamond Review, 60, 55-65.
- Konstanty, J., 2002. Theoretical Analysis of Stone Sawing with Diamonds, Journal of Materials Processing Technology, 123, 146-154.
- Li, Y., Huang, H., Shen, J.Y., Xu, X.P. ve Gao, Y.S., 2002. Cost Effective Machining of Granite by Reducing Tribological Interactions, Journal of Materials Processing Technology, 129, 389-394.
- Liao, Y.S. ve Luo, S.Y., 1992. Wear Characteristics of Sintered Diamond Composite During Circular Sawing, Wear, 157, 325-337.
- Luo, S.Y., 1997. Investigation of The Worn Surface of Diamond Sawblades in Sawing Granite, Journal of Materials Processing Technology, 70, 1-8.
- Norling, R.G., 1971. Mechanical Properties and The Composition of Some Swedish Natural Stone Types and Their Effect on Cutting Results. In: Presentation at the Conference on Diamond in the Construction and Stone Industry, Germany.
- Onargan, T., Köse, H. ve Deliormanlı, A. H., 2006. Mermer, Maden Mühendisleri Odası, Ankara.
- Tönshoff, H.K., 2002. Hilmann-Apmann, H. ve Asche, J., Diamond Tools in Stone and Civil Engineering Industry: Cutting principles, Wear and Applications, Diamond and Related Materials, 11, 736-741.

- Tüdeş, Ş.,1994, İkizdere (Rize) Yöresindeki Granitik Kayaçların Mermer Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 50 s.
- URL 1 <http://www.mks.com.tr/assets/images/mksblokkeme.jpg> S/T Blok Kesme Makinesi. 30 Ocak 2009.
- URL 2 <http://www.mks.com.tr/assets/images/bem.jpg> Kafa Kesme Makinesi. 30 Ocak 2009.
- URL-3, <http://www.mks.com.tr/assets/images/kkm.jpg> Köprülü Kesme Makineleri. 30 Ocak 2009.
- Ünver, B., 1992. Kayaların Testerelerle Kesilebilirliğinin Pratik Olarak Belirlenebilmesi İçin İstatistiksel Bir Yaklaşım, Madencilik Dergisi, XXXI, 3-25.
- Wang, C.Y. ve Clausen, R., 2002. Marble Cutting with Single Point Cutting Tool and Diamond Segments, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42, 1045-1054.
- Wright, D.N. ve Cassapi, V.B., 1985. Factors Influencing Stone Sawability, Ind Diamond Rev., 2, 84-7.
- Xu, X., 2001. Experimental Study on Temperatures and Energy Partition at The Diamond-Granite Interface in Grinding, Tribology International, 34, 419-426.
- Xu, X., Li, Y. ve Yu, Y., 2003. Force Ratio in The Circular Sawing of Granites with a Diamond Segmented Blade, Journal of Materials Processing Technology, 139, 281-285.

ÖZGEÇMİŞ

20 Temmuz 1982'de Hakkari'de doğdu. İlk, orta öğrenimini Anadolu'nun çeşitli vilayetlerinde tamamladıktan sonra Gaziantep Süper Lisesi'nden mezun oldu. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı.

Aktif lisans eğitimi süresi içerisinde 04.04.2004 tarihinde K.T.Ü. Maden Müh. Bölümü Maden Öğrenci Kulübünün kurulmasına vesile oldu ve 2 yıl kulüp başkanlığı görevini sürdürdü.

Üniversite eğitimi süresince belirli dönemlerde Gaziantep Ytong A.Ş., Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş., Sabuncular A.Ş.'de meslek stajlarını tamamladı.

02 Eylül 2005'de lisans eğitimini bitirdi. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Güz yarıyılında K.T.Ü. Yabancı Diller Yüksek Okulu'nda İngilizce hazırlık programına devam etti.

Yüksek Lisans tez çalışması boyunca Gümüşhane ve Bayburt Travertenlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doğal Taşların Kesilmesi ve İşlenmesinde Su Jeti Kullanımı, Papatya Desenli Diyoritlerin Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliği adlı çalışmaları da yapmıştır.

Yüksek lisans öğrenimi süresinde sırasıyla Espiye Yılmazlar İnşaat Malz. San. ve Tic. A.Ş. (Şantiye Şefi)(Tirebolu/Giresun), Kafkas Mermer(Plan-Proje ve Satış Sorumlusu)(Arsin/Trabzon) ve Forum Trabzon A.V.M. inşaatında(Traverten İç Cephe Kaplamaları Şefi) görev yapmıştır.

Halen aynı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam eden Ümit GÖRGÜLÜ'nün yabancı dili İngilizcedir.