

## **Elmas Soketli Dairesel Testere Uygulamalarında Kesilebilirlik Parametreleri ve Ortalama Talaş Kalınlığı Arasındaki İlişkilerin Deneysel Analizi**

*Experimental Analysis of the Relations between Sawability Parameters and Mean Chip Thickness in Diamond-Segmented Circular Sawblade Applications*

Nurdan Güneş Yılmaz<sup>1\*</sup>, R. Mete Göktan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Bölümü, Torbalı, İzmir*

<sup>2</sup>*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Yerleşkesi, Eskişehir*

\*Sorumlu yazar: [nurdan.yilmaz@deu.edu.tr](mailto:nurdan.yilmaz@deu.edu.tr)

### **Özet**

Ortalama talaş kalınlığı doğal taşların kesilebilirlik analizlerinde yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Kesim esnasında oluşan talaş kalınlıklarının görece yüksek değerler alması, daha verimli kesme koşullarına işaret etmektedir. Kesme hızı, testere ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi çalışma parametreleri ortalama talaş kalınlığı üzerinde önemli rol oynamaktadır. Diğer yandan, testereyle ilgili özellikler olan testere çapı, elmas konsantrasyonu, soket ve elmas geometrisi gibi parametrelerin de ortalama talaş kalınlığı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, farklı kesme koşullarında oluşan ortalama talaş kalınlıkları ve kesilebilirlik parametreleri olarak kabul edilen kesme kuvvetleri, özgül kesme enerjisi ve özgül aşınma arasındaki ilişkiler deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, talaş kalınlığını en yüksek değerde tutabilecek koşulların oluşturulmasının kesme verimini artırıcı bir rol oynadığı gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dairesel testere, kesilebilirlik, talaş kalınlığı, özgül enerji, özgül aşınma.

### **Abstract**

*Mean chip thickness is a widely used parameter in determining the sawability characteristics of natural stones. Higher values of this parameter indicate more efficient machining conditions. It is influenced mainly by the operational factors such as sawing rate, feed rate of the sawblade and cutting depth. On the other hand, properties of the sawblade including sawblade diameter, diamond concentration and geometry of the segments and diamond particles are also known to be influencing factors. In this study, relations between mean chip thickness and sawability parameters such as cutting forces, specific sawing energy and specific wear have been experimentally examined under different machining conditions. As a result of the evaluations made, it has been shown that sawing efficiency is increased under the machining conditions in which the highest mean chip thickness is attained.*

**Key words:** Circular sawblade, sawability, chip thickness, specific energy, specific wear.

## 1. Giriş

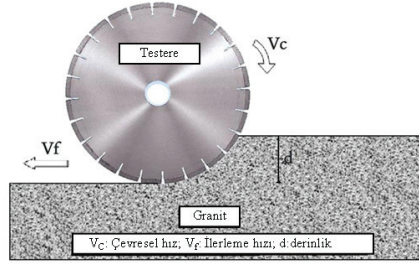
Elmas soketli dairesel testereler doğal taş işleme tesislerinde plaka ve fayans gibi ürünlerin elde edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dairesel testerelerde kesme performansını etkileyen başlıca faktörler çalışma parametreleri (çevresel hız, ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği, soğutma suyu miktarı, testere ve makine tasarımı) ve *kesilecek taşa ait özellikler* (sertlik, aşındırıcılık, fiziko-mekanik ve mineralojik özellikler) olmaktadır. Bu bakımdan, kesilecek taşın özellikleri de dikkate alınarak, en uygun kesme koşullarının belirlenmesi uygulamada büyük önem taşımaktadır. Uygun kesme koşullarının belirlenebilmesi ise kesilebilirlik analizleri yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Elmas soketli dairesel testerelerle yapılan kesilebilirlik analizlerinde kullanılan başlıca kesilebilirlik parametreleri olarak *kesme kuvvetleri (normal ve teğetsel kesme kuvveti), aktif güç tüketimi, özgül kesme enerjisi, özgül aşınma hızı, gürültü ve ortalama talaş kalınlığı* dikkate alınmaktadır. Bu parametreler, taşların kesim kolaylığı hakkında bilgi verdiği gibi, kesme mekanizmasının daha iyi anlaşılması bakımından yararlı olmaktadır.

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan kesilebilirlik analizlerde yoğunlaşan başlıca konuların: (i) enerji tüketimi ve kesme kuvvetleri (Mamalis ve ark., 1979; Xu ve ark., 2001; Xipeng ve ark., 2001; Xu ve ark., 2004; Polini ve Turchetta 2004; Yu ve ark., 2004; Güneş Yılmaz ve Gökten, 2008), (ii) testere aşınması ( Luo, 1996; Karagöz ve Zeren, 2001; Konstanty, 2002; Ilio ve Togna, 2003; Tönshoff ve ark., 2003; Polini ve Turchetta, 2007; Güneş Yılmaz ve ark., 2011; Güneş Yılmaz, 2011), (iii) Soğutma suyu (Wang ve ark., 1995), testere ve soket tasarım parametreleri (Huang ve ark., 2004; Nitkiewicz ve Swierzy, 2006; Yingning ve ark., 2008; Shanshan ve ark., 2008), (iv) gürültü (Asche, 1999; Denka ve ark., 2003; Wang ve ark., 2005; Güneş Yılmaz ve Gökten, 2011), (v) ortalama talaş kalınlığı (Tönshoff ve Warnecke, 1982; Ertingshausen, 1985; Konstanty 2000), ve (vi) taş özellikleri (Hausberger, 1990; Ünver, 1996; Luo, 1997; Wei ve ark., 2003; Delgado ve ark., 2005; Riberio ve ark., 2007; Güneş Yılmaz ve ark., 2011) olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, farklı kesme koşullarında oluşan ortalama talaş kalınlıklarının kesilebilirlik parametreleriyle olan ilişkilerinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, 400 mm çapındaki elmas soketli dairesel testere yardımıyla bir granit örneği üzerinde laboratuvar kesme deneyleri uygulanmıştır. Deneylerde, testerenin ilerleme hızı ve kesme derinliği değiştirilerek, farklı kesme hızları elde edilmiştir. Kesimler esnasında testereye etkiyen kesme kuvvetleri, aktif güç tüketimi ve soketlerdeki radyal aşınma değerleri ölçülmüştür. Daha sonraki aşamada ise, ölçülen bu değerler ve teorik olarak hesaplanan ortalama talaş kalınlığı arasındaki ilişkiler incelenerek, edilen bulguların analitik yorumları yapılmıştır.

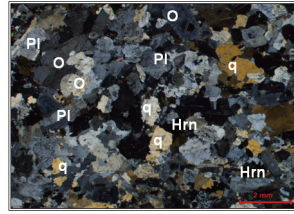
## 2. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada, bilgisayar kontrollü bir deney seti kullanılarak, 400 mm çaplı elmas soketli dairesel testere yardımıyla bir granit örneği üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde “aşağı-yönlü” kesme yöntemi uygulanmıştır (Şekil 1). Deneyler esnasında kesme derinliği (d), testere ilerleme hızı ( $V_f$ ), testere çevresel hızı ( $V_c$ ) ve soğutma suyu gibi çalışma parametreleri bilgisayarla kontrol edilebilmektedir. Diğer yandan, testereye etkiyen kuvvetler ve anlık güç tüketimleri, sırasıyla kuvvet-ölçer ve enerji analizörü yardımıyla ölçülerek, daha sonra değerlendirilmek üzere 0.25 s aralıklarla bilgisayar ortamına gönderilmektedir. Deney setinin mekanik yapısı, elektrik sistemi ve bilgisayar tabanlı otomasyon sistemine ait ayrıntılar diğer kaynaklarda (Güneş Yılmaz, 2009; Çınar, 2007) verilmiştir.



Şekil 1. Aşağı yönlü-kesme yöntemi

Deneylerde kullanılan testere 400 mm çapında olup, üzerinde 3.2 x 9.0 x 40 mm boyutlarında 24 adet adet elmas soket bulunmaktadır. SDA 85 tipindeki elmasların konsantrasyonu % 20 ve tane boyutları ise 40/50 US mesh dir. Testere üreticisi firmanın önerileri doğrultusunda, tüm deneylerde testere çevresel hız 30 m/s ve soğutma suyu debisi 15 l/dak olarak seçilmiştir. Kesimi yapılan kayaç bir doğal taş işleme tesisinden temin edilmiş olup, ticari olarak “granit” türü sert taş grubuna aittir. Taşın tek eksenli basma dayanımı 186 MPa, Çekme dayanımı 12 MPa ve Shore sertliği 95 olarak belirlenmiştir. Kayacı oluşturan başlıca mineraller alkali feldspatlar, plajiyoklas ve kuvarsdır (Şekil 2). Anılan taşın mineralojik içeriği ve tane boyutları Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Kayaç örneğine ait ince kesit görüntüsü

Mineral adı	%	Tane boyu (mm)		
		Min.	Ort.	Maks.
Alkali Feldspat (mikroklin, ortoklaz)	% 30	0.1	0.5	2.0
Plajiyoklas	% 29	0.04	1	4.0
Kuvars	% 24	0.06	1	4.0
Amfibol (hornblend)	% 8	0.06	0.2	0.7
Biyotit	% 5	0.02	0.2	0.8
Epidot	% 2	-	-	-
Diğer (titanit, zirkon, apatit, opak mineraller)	% 2	-	-	-

Çizelge 1. Kesilen kayacın mineralojik özellikleri

### 3. Deneylerde Ölçümleri Yapılan Kesilebilirlik Parametreleri

Bu çalışmada incelenen kesilebilirlik parametreleri (kesme kuvvetleri, aktif güç tüketimi, özgül kesme enerjisi, özgül aşınma ve ortalama talaş kalınlığı) aşağıda açıklanmıştır.

#### 3. 1. Kesme kuvvetleri

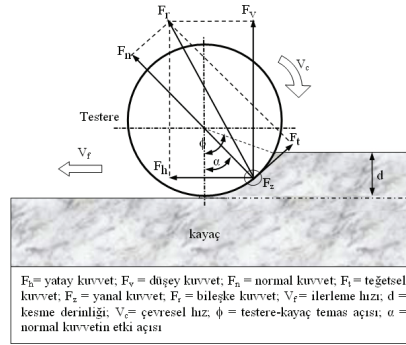
Kesme kuvvetlerinin farklı çalışma parametreleri altında ölçülmesi ve değerlendirilmesi uygulamada büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, kesim esnasında testere üzerine etkiyen yatay kuvvetler ( $F_h$ ) ve düşey kuvvetler ( $F_v$ ) bir dinamometre yardımıyla ölçülerek bilgisayar orta-

mına aktarılmıştır. Bununla birlikte, kesilebilirlik analizlerinde genellikle teğetsel kuvvetler ( $F_t$ ) ve normal kuvvetler ( $F_n$ ) kullanılmaktadır (Şekil 3). Teğetsel kuvvetler, elmas tanesinin kesim esnasında talaş (chip) oluşturabilmesi için gerekli olan yüklerle ilgilidir. Normal kuvvetler ise elmas tanesine ve dolayısıyla testereye gelen düşey yüklerle ilgilidir. Normal kuvvetlerin artması, testere gövdesinde eğilme momentlerine yol açmakta ve bunun sonucu olarak testerede ve kesim yüzeyinde sapmalara neden olabilmektedir. Bu kuvvetler Bağıntı 1 ve 2 yardımıyla hesaplanmaktadır (Xu ve ark., 2003):

$$F_t = P/V_c \quad (1)$$

Burada, P aktif güç (W) ve  $V_c$  çevresel hız (m/s) dir.

$$F_n = [(F_h)^2 + (F_v)^2 - (F_t)^2]^{1/2} \quad (2)$$



Şekil 3. Aşağı-yönlü kesme yönteminin kinematığı (Ertingshausen, 1985)

### 3.2. Aktif GüçTüketimi ve Özgül Kesme Enerjisi

Elektrik enerjisi tüketimi doğal taş işleme tesislerindeki en önemli maliyet kalemleri arasındadır. Aktif güç tüketimi (P) değerleri, enerji tüketimi konusunda bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, testere motorunun anlık güç tüketim değerleri bir enerji analizörü yardımıyla ölçülerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Özgül kesme enerjisi (SE), birim hacimdeki kayacı kesmek için harcanan enerji miktarı olup, kesme işleminin verimliliği konusunda yaygın olarak kullanılan bir göstergedir (Xipeng ve ark., 2001; Li ve ark., 2002). Özgül kesme enerjisinin küçük değerleri görece ‘verimli’ kesme koşullarına işaret etmektedir. Özgül kesme enerjisi Bağıntı 3 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$SE = E_t / Q \quad (3)$$

Burada: SE = özgül kesme enerjisi ( $J/mm^3$ ),  $E_t$  = kesme süresince tüketilen toplam enerji (W.s) ve Q = testerenin kesim süresince taş içersinde açtığı kanalın hacmi ( $mm^3$ ) dir.

### 3.3. Özgül aşınma

Doğal taş işleme tesislerinde, enerji tüketiminin yanısıra testere ömrü de önemli maliyet kalemleri arasındadır. Bu nedenle, herhangi bir uygulama için en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi istenildiğinde, testerenin özgül aşınma değerlerinden yararlanılabilmektedir. Özgül aşınma (SW), kesilen birim yüzey alanına karşılık olan testere soketlerindeki radyal aşınma olup, genellikle  $\mu m/m^2$  olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada, testere soketlerinde oluşan radyal aşınma miktarları Keyence LK-G87 modeli lazer yer değiştirme sensörü yardımıyla ölçülmüştür. Cihaz, pürüzlü yüzeylerin ölçülmesine olanak veren ‘geniş ışın’ özelliğine sahip

olup örnekleme periyodu 20 µs dir. Her seri kesme deneyi öncesinde ve sonrasında, testere soketleri üzerinde yapılan ölçüm değerlerine ait sayısal veriler cihazın bilgi toplama birimi aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Aktarılan bu verilerin istatistiksel değerlendirilmesi Excel programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, kesim öncesi ve sonrası hesaplanan radyal uzaklıklar arasındaki fark, o deneye ait radyal aşınma değeri (µm) olarak kabul edilmiştir.

### 3.4. Ortalama talaş kalınlığı

Soket matrisi içerisinde belirli bir çalışma yüksekliğine ulaşan her elmas tanesi, çalışma yüksekliğine bağlı olarak, kayaç yüzeyinden belirli kalınlıktaki bir talaşı (chip) uzaklaştırır. Soket içerisinde rasgele dağılmış olmaları nedeniyle, elmas tanelerinin kesim esnasındaki bu davranışlarını ayrıntılı olarak belirleyebilmek çok zordur (Denka ve ark., 2003). Bununla birlikte, bazı kabuller yapılarak, her bir elmas tanesinin oluşturduğu ortalama talaş kalınlığı (Şekil 4) Bağıntı 4 yardımıyla hesaplanabilmektedir (Tönshoff ve Warnecke, 1982):

$$h_m = \sqrt{\left(\frac{V_f}{V_c}\right) \left(\frac{1}{C \cdot \lambda \cdot r}\right) \sqrt{\frac{d}{D}}} \quad (4)$$

Burada;

$h_m$ : her bir elmas tanesi tarafından oluşturulan ortalama talaş kalınlığı, mm

$V_f$ : testere ilerleme hızı, cm<sup>2</sup>/dak

$V_c$ : testerenin çevresel hızı, m/s

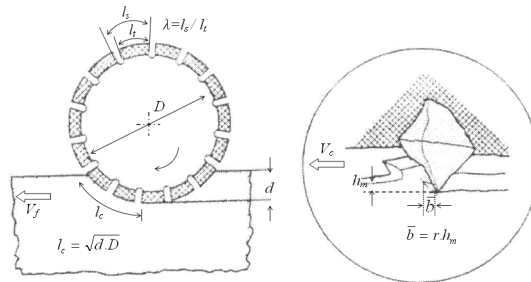
$C$ : soket yüzeyinde birim alana düşen aktif elmas sayısı, adet/mm<sup>2</sup>

$\lambda$ : soket oranı

$r$ : talaş genişliği/talaş kalınlığı oranı

$d$ : kesme derinliği, mm

$D$ : testere çapı, mm

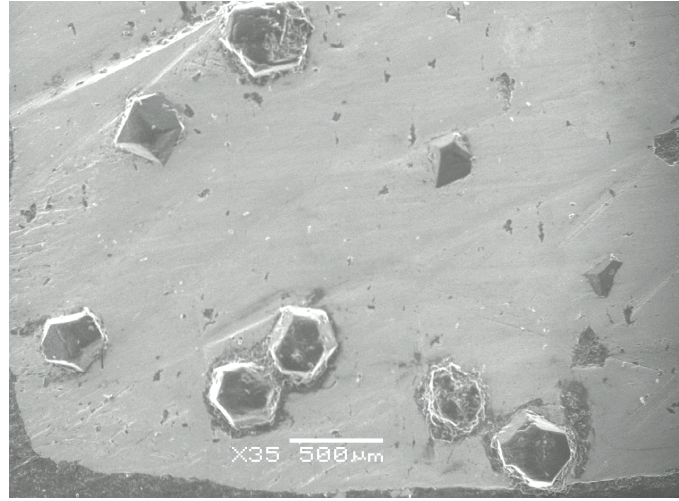


Şekil 4. Ortalama talaş kalınlığı (Tönshoff ve Warnecke, 1982)

Çalışma parametreleri ve soket özelliklerinin ortalama talaş kalınlığı üzerindeki etkilerini birlikte değerlendirme olanağı sağlamasından ötürü, kesilebilirlik analizlerinde Bağıntı 4 yaygın olarak kullanılmaktadır. Ortalama talaş kalınlığının görece yüksek değerleri daha verimli kesme koşullarına işaret etmektedir.

Ortalama talaş kalınlığının hesaplanmasında, soket yüzeyinde birim alana düşen aktif elmas sayısının ( $C$ ) yaklaşık olarak sabit kaldığı kabul edilmektedir (Mamalis ve ark. 1979). Bu çalışmada, kesme deneylerinde kullanılan testereye ait aktif elmas sayısı, soket üzerinden alınan örneğin SEM (Scanning Electron Microscope) görüntü analizi ile gerçekleştirilmiş ve  $C = 0.91$  mm<sup>-2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Deneylerde kullanılan testere ve soket özelliklerine göre

$D = 400$  mm,  $C = 0.91$  mm<sup>2</sup>,  $\lambda = 0.75$ ,  $r = 10$  (Tönshoff ve Warnecke, 1982) ve testere çevresel hızı  $V_c = 30$  m/s değeri sabit alınarak, ortalama talaş kalınlığı (hm) farklı ilerleme hızı ( $V_f$ ) ve kesme derinliği (d) seviyeleri için hesaplanmıştır.



Şekil 5. Soket üzerindeki elmas tanelerinin SEM görüntüsü.

#### 4. Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi ve Tartışma

Kesme hızı ( $Q_w$ ), dairesel testerele yapılan kesme işlemin ekonomikliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Maksimum verimlilik açısından, herhangi bir uygulamada kesme hızının mümkün olduğu kadar yüksek tutulması istenir. Doğal taş sektöründe “üretim hızı” olarak da bilinen kesme hızı, birim zamanda kesilen yüzey alanı olup

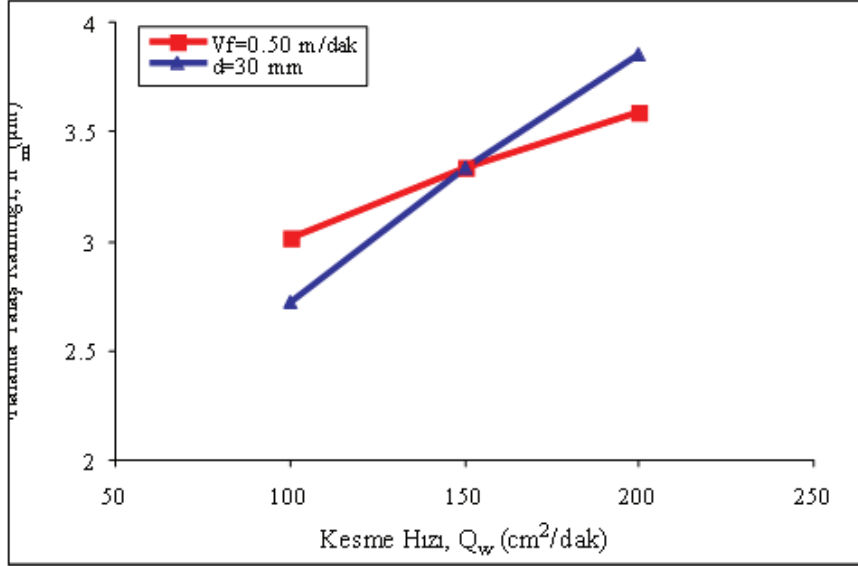
$$Q_w = d \times V_f \quad (5)$$

bağıntısından cm<sup>2</sup>/dak veya m<sup>2</sup>/h olarak hesaplanmaktadır. Burada; d = kesme derinliği ve  $V_f$  = ilerleme hızı'dır. Deneylerde: (i) ilerleme hızı sabit, kesme derinliği değişken, ve (ii) kesme derinliği sabit, ilerleme hızı değişken olmak üzere farklı kesme koşulları uygulanarak, yaklaşık 100, 150 ve 200 cm<sup>2</sup>/dak'lık kesme hızları ( $Q_w$ ) elde edilmiştir (Çizelge 2).

İlerleme hızı sabit ( $V_f = 0.50$ m/dak)					
d (mm)	$F_T$ (N)	$F_N$ (N)	P (W)	SE (J/mm <sup>3</sup> )	SW (µm/m <sup>2</sup> )
10	60.25	215.78	1807.53	6.198	86.20
20	91.71	351.90	2751.32	4.716	92.25
30	120.82	524.22	3624.89	4.143	108.23
40	137.70	641.29	4131.29	3.541	130.47
Derinlik sabit (d=30 mm)					
$V_f$ (m/min)	$F_T$ (N)	$F_N$ (N)	P (W)	SE (J/mm <sup>3</sup> )	SW (µm/m <sup>2</sup> )
0.33	115.87	453.77	3476.18	5.965	78.73
0.50	120.83	524.22	3624.89	4.143	108.23
0.66	132.16	574.83	3964.82	3.402	169.70

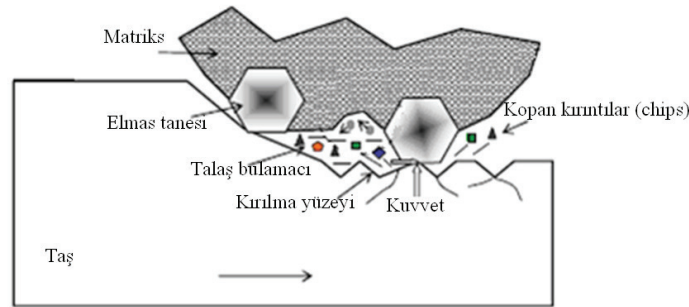
Çizelge 2. Kesme deneyi sonuçları.

Şekil 6’ da görüldüğü gibi, kesme hızının ( $Q_w$ ) artmasıyla birlikte ortalama talaş kalınlığı da artmaktadır. Bununla birlikte, yüksek kesme hızlarına ulaşılacak istenildiğinde, kesme derinliğini sabit tutup ( $d = 30$  mm) ilerleme hızını arttırmak şeklindeki uygulamanın talaş kalınlığı üzerinde daha avantajlı bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, çevresel hızın sabit tutulduğu bir uygulamada, ortalama talaş kalınlığı üzerinde etkili olan en önemli çalışma parametresi ilerleme hızı olmaktadır.



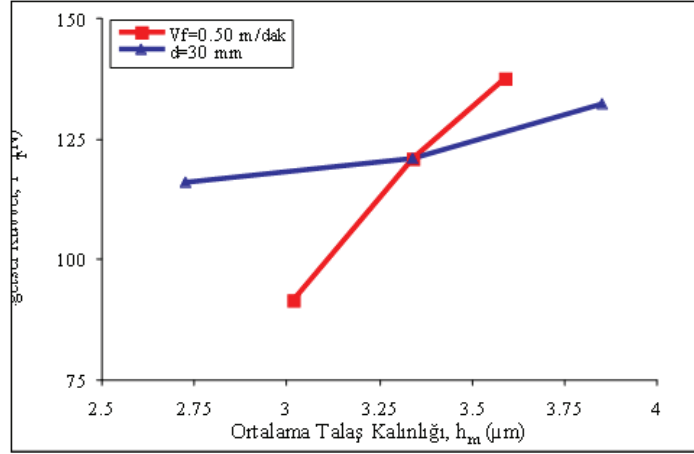
Şekil 6. Kesme hızı – ortalama talaş kalınlığı ilişkisi.

Diğer yandan, ileride gösterileceği gibi, kesme hızının artmasıyla birlikte soket-taş arasındaki bulamaç ortamına (Şekil 7) daha fazla sayıda iri talaş gireceğinden, testeredeki radyal aşınmaların artması da söz konusu olacaktır.

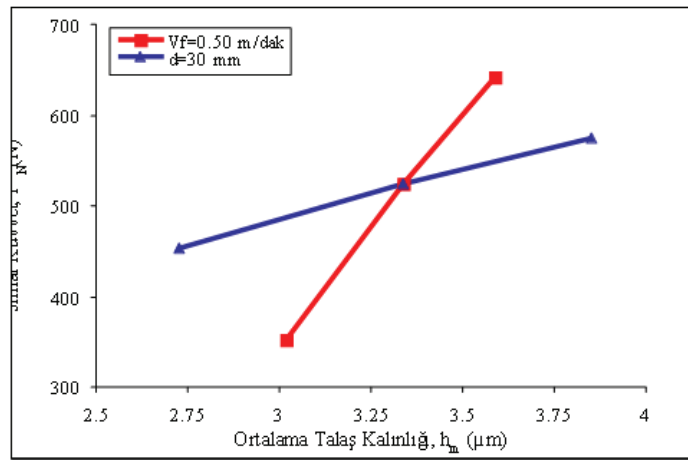


Şekil 7. Talaş bulamacının matriks aşınmasına etkisi (Xu ve ark., 2003)

Zaman - işçilik açısından getirdiği avantajlardan ötürü, kesilecek taşın özelliklerine ve makina gücüne bağlı olarak, kesme hızının uygulamada mümkün olduğu kadar yüksek tutulması istenir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin fonksiyonu olduğundan bu iki parametreye ait değerlerin uygun bir birleşimi gerekir. Kesme derinliği ( $d = 30$  mm) olarak sabit tutulup, ilerleme hızını arttırmak suretiyle daha yüksek kesme hızlarına ulaşılacak istenildiğinde (Örneğin  $200$  cm<sup>2</sup>/dak); testereye etkileyen teğetsel ve normal kuvvetlerin büyüklüğü daha az olmakta ve bu durumda ortalama talaş kalınlığı daha büyük olmaktadır (Şekil 8 ve 9).

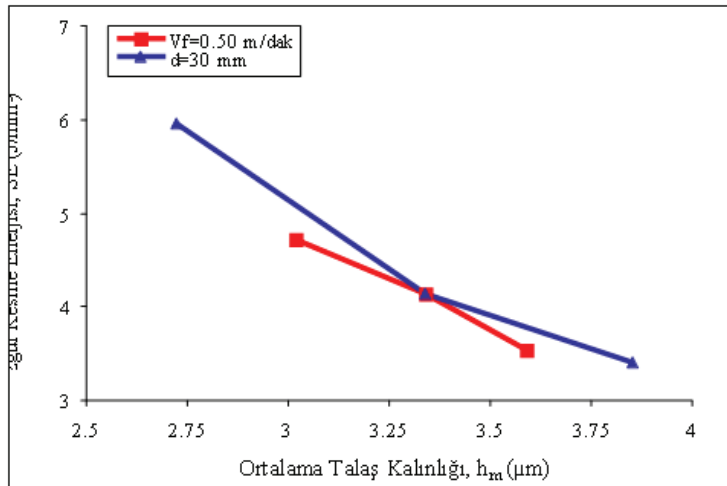


Şekil 8. Ortalama talaş kalınlığı - teğetsel kuvvet ilişkisi.



Şekil 9. Ortalama talaş kalınlığı - normal kuvvet ilişkisi

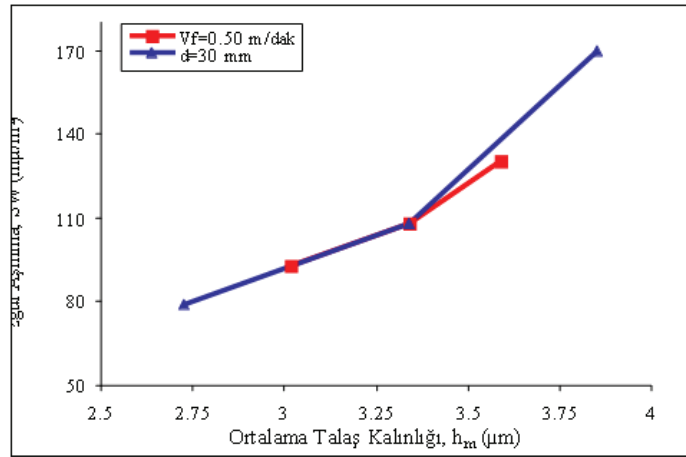
Şekil 10, görece kalın talaşların oluştuğu kesme koşullarında özgül kesme enerjisinin (SE) azalacağına, ve bu nedenle, kesme işleminin daha verimli olacağına işaret etmektedir. Diğer bir anlatımla, ince talaşların oluşturulmasında harcanan enerji daha fazla olmaktadır. Bu nedenle, talaş kalınlığını en yüksek düzeyde tutabilecek soket tasarımı ve kesme koşullarının oluşturulması, kesme veriminin iyileştirilmesi bakımından uygulamada büyük önem taşımaktadır.



Şekil 10. Ortalama talaş kalınlığı - özgül kesme enerjisi ilişkisi.

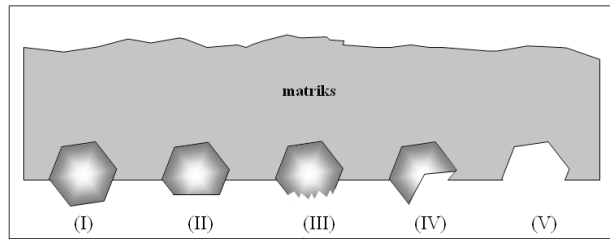


Şekil 11’de görüldüğü gibi, sabit bir kesme hızı için, kesme derinliğini yükseltip ilerleme hızını azaltmak şeklindeki uygulamalar, özgül aşınma değerleri üzerinde daha olumlu bir rol oynamaktadır. Bu durum, Bağıntı 4’ te verilen ortalama talaş kalınlığı–çalışma parametreleri ilişkileri yardımıyla açıklanabilir. Anılan bağıntıya göre, testere çevresel hızı ve soket özellikleri sabit kaldığında; ortalama talaş kalınlığı ilerleme hızının ve kesme derinliğinin bir fonksiyonudur. Ancak, talaş kalınlığı üzerinde daha fazla etkili olan parametre ilerleme hızı olmaktadır. Kesme derinliği sabit tutulup ilerleme hızının artırılmasıyla birlikte, kesme zonunda oluşan talaşların kalınlıkları da artmaktadır (Şekil 11). Ancak, bu durumda elmas taneleri üzerine etkiyen yükler de artacağından, elmas tanelerinde aşınmalar da artacaktır. Testere soketlerindeki aşınma durumu testerenin kesme yeteneği ve kesim esnasındaki duraylılığı ile yakından ilgilidir (Tönshoff ve Asche, 1997).



Şekil 11. Ortalama talaş kalınlığı-özgül aşınma ilişkisi.

Elmas taneleri ve taş arasındaki etkileşim sonucu, kesim sırasında farklı yapılar sahip elmas taneleri oluşur (Şekil 12). Yeni ve mikro-çatlaklı elmasların mümkün olduğu kadar fazla sayıda olması, daha uygun kesme koşullarına işaret eder. İlerleme hızı gereğinden düşük tutulduğunda, talaş kalınlıkları azalmakta ve düzleşmiş elmasların sayıları da artmaktadır. Bu ise testereye etkiyen normal kuvvetlerin artmasına yol açmaktadır (Denkena ve ark., 2003).



Şekil 12. Elmas tanelerinde görülen aşınma türleri: (I) yeni; (II) düzleşmiş ; (III) mikro-çatlaklı; (IV) makro-çatlaklı; (V) kopmuş (Ertingshausen, 1984; Bullen, 1982).

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı kesme koşullarında oluşan ortalama talaş kalınlıkları ve kesilebilirlik parametreleri arasındaki ilişkiler deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kesme hızının yüksek tutulması ortalama talaş kalınlığını artırıcı bir etki yapmaktadır. Bununla birlikte, kesme derinliğinin sabit tutulup ilerleme hızının artırılması şeklindeki bir uygulama daha kalın talaşların oluşmasını sağlamaktadır. Kesme derinliğini sabit tutup ilerleme hızını

arttırarak daha yüksek kesme hızlarına ulaşılacak istenildiğinde, testereye etkiyen teğetsel ve normal kuvvetlerin büyüklüğü de görece daha küçük olmaktadır. Ortalama talaş kalınlığı arttıkça, özgül kesme enerjisi azalmaktadır. Bu ise, kesme işleminin daha verimli koşullarda gerçekleşmekte olduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte, ortalama talaş kalınlığındaki artışlar özgül aşınma miktarındaki artışları da beraberinde getirmektedir.

### **Katkı Belirtme ve Teşekkür**

Yazarlar, petrografik incelemelerdeki yardımları nedeniyle Prof. Dr. Yaşar Kibici' ye ve deney örneklerinin temininde destek veren Granitaş A.Ş. şirketi yetkililerine teşekkürü bir borç bilir.

### **6. Kaynaklar**

- Asche, J., 1999. Deep grinding- a new dimension in cutting granite. *Industrial Diamond*. 2, 110-122.
- Bullen, G.J., 1982. Der blattverschleis beim Sagen von Granit mit hohen Flächen-leistungen. *Industrie Diamenten Rundschau*. 16, 4-10.
- Çınar, S.M., 2007. Mermer kesme makinelerinde elektrik enerjisi tüketimi optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. (Yayınlanmamış).
- Delgado, N.S., Rey-Rodriguez, A., Suarez del Rio, L.M., Sarria, I.D., Calleja, L., Ruiz de Argandona, V.G., 2005. The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain). *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 42, 161-162.
- Denkena, B., Tönshoff, H.K., Friemuth, T., Glatzel, T., 2003. Development of advanced tools for economic and ecological grinding of granite. *Key Engineering Materials*. 250, 21-32.
- Ertinghausen, W., 1984. Zerspanning von Granit mit Diamant-Trennschleifscheiben. Dr-Ing. Dissertation, Universität Hannover.
- Ertinghausen, W., 1985. Wear processes in sawing hard stone. *International Diamond Review*. 45, 254-258.
- Güneş Yılmaz N., Göktan, R.M., 2011. Elmas soketli bir dairesel testerenin oluşturduğu gürültünün çalışma parametreleri ve taş özellikleri açısından değerlendirilmesi. 3. Maden Makinaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 5-6 Mayıs, İzmir, 95-106.
- Güneş Yılmaz, N., 2009. Magmatik kökenli doğal taşların elmas soketli dairesel testerelemlerle kesilebilirlik analizleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 188 s (Yayınlanmamış).
- Güneş Yılmaz, N., 2011. Abrasivity assessment of granitic building stones in relation to diamond tool wear rate using mineralogy-based rock hardness indexes. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 44, 725-733.
- Güneş Yılmaz, N., Göktan, R.M., 2008. Effect of sawing rate on force and energy requirements in the circular sawing of granites. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 21, 59-74.
- Gunes Yılmaz, N., Goktan, R.M., Kibici, Y., 2011. An investigation of the petrographic and physico-mechanical properties of true granites influencing diamond tool wear performance, and development of a new wear index. *Wear*. 271, 960-969.
- Hausberger, P., 1990. Stone Machinability. *Industrial Diamond Review*. 5, 258-261.
- Huang, H., Zhu, H.M., Xu, X.P., 2004. Grinding of granite with three kinds of diamond tools. *Key Engineering Materials*. 259-260, 146-150.
- Ilio, A.D., Togna, A., 2003. A theoretical wear model for diamond tools in stone cutting. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 43, 1171-1177.
- Karagöz, Ş., Zeren, M., 2001. Mermer kesiminde kullanılan elmas kesici takımlarda aşınma karakteristiği. Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001) Bildiriler Kitabı, 3-5 Mayıs 2001, Afyon, 452-461.

- Konstanty, J., 2000. Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of Stone. *Industrial Diamond Review*. January, 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., Gao, Y.S., 2002. Cost-effective machining of granite by reducing tribological interactions. *Journal of Materials Processing Technology*. 129, 389-394.
- Luo, S.Y., 1996. Characteristics of diamond sawblade wear in sawing. *International Journal of Manufacturing*. 36, 661-672.
- Luo, S.Y., 1997. Investigation of the worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite. *Journal of Materials Processing Technology*. 70, 1-8.
- Mamalis, A.G., Schulze, R., Tönshoff, H.K., 1979. The slotting of blocks of hard rock with a diamond segmented circular sawblade, *Industrial Diamond Review*, October, 356-365.
- Nitkiewicz, Z., Swierzy, M., 2006. Tin influence on diamond-metal matrix hot pressed tools for stone cutting. *Journal of Materials Processing Technology*. 175, 306-315.
- Polini, W., Turchetta, S., 2004. Force and specific energy in stone cutting by diamond mill. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 44, 1189-1196.
- Polini, W., Turchetta, S., 2007. Monitoring of diamond disk wear in stone cutting by means of force or acceleration sensors. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 35, 454-467.
- Riberio, R., Paraguassu, A., Rodrigues, J., 2007. Sawing of blocks of siliceous dimension stone: Influence of texture and mineralogy. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*. 66, 101-107.
- Tönshoff, H.K., Asche, J., 1997. Wear of metal-bond diamond tools in the machining of stone. *Industrial Diamond Review*. 1, 7-13.
- Tönshoff, H.K., Denkena, B., Asche, J., Apmann, H.H., 2003. Development of a system for the deep sawing of granite. *Key Engineering Materials*. 250, 239-246.
- Tönshoff, H.K., Warnecke, G., 1982. Research on stone sawing. *Advances in Ultra Hard Materials Application Technology*. De Beers Industrial Diamond Division, P. Daniel (Edt.). 1, 36-49.
- Unver, B., 1996. A statistical method for practical assessment of sawability of rocks. *Eurock'96*, Barla (Edt.) Balkema, Rotterdam, 59-65.
- Wang, C.Y., Hu, Y.N., Wang, Z.W., Ding, H.N., 2005. Noise and vibration of diamond sawblade for concrete dry cutting. *Key Engineering Materials*. 291-292, 103-108.
- Wang, C.Y., Wei, X., Tang, Z.L., Pan, Z.C., 1995. The role of coolant in granite sawing. *Industrial Diamond Review*. 4, 156-160.
- Wei, X., Wang, C.Y., Zhou, Z.H., 2003. Study on the fuzzy ranking of granite sawability. *Journal of Materials Processing Technology*. 39, 277-280.
- Xipeng, X., Yuan, L., Stephen, M., 2001. Forces and energy in circular sawing and grinding of granite. *Journal of Manufacturing Sciences and Engineering*, ASME. 123, 13-22.
- Xu, X., Li, Y., Malkin, S., 2001. Forces and energy in circular sawing and grinding of granite. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 123, 13-22.
- Xu, X., Li, Y., Yu, Y., 2003. Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade. *Journal of Materials Processing Technology*. 139, 281-285.
- Xu, X.P., Li, Y., 2003. The effects of swarf in the diamond sawing of granite. *Key Engineering Materials*. 250, 21-32.
- Yingning, H., Chengyong, W., Shanshan, H., Bangdao, C., Changxiong, C., 2008. Dynamic characteristics analysis of diamond saw blade with multi-hole base and different segment width. *Key Engineering Materials*. 375-376, 369-374.
- Yu, Y.Q., Li, Y., Xu, X.P., 2004. An experimental study of the specific energy in grinding granite. *Materials Science Forum*. 471-472, 625-629.

