

Asidik ve Bazik İçerikli Ticari Granitlerin Kesilebilirlik Özelliklerinde Gözlenen Farklılıklar

Differences Observed in the Sawability Characteristics of Acidic and Basic Commercial Granites

Nurdan Güneş Yılmaz

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

R.Mete Gökten

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

Turgay Onargan

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Doğal taş sektöründe kısaca ‘granitler’ olarak adlandırılan sert taşlar, dünya doğal taş ticaretinde giderek artan bir talep görmektedir. Granitlere olan talebin artmasının başlıca nedenleri aşınmaya ve dış etkilere daha dayanıklı olmaları, estetik özellikleri ve çok iyi cila kabul etmeleridir. Bununla birlikte, dokusal özelliklerinin yanısıra, sert ve aşındırıcı olmaları nedeniyle granitlerin kesilebilirlik özellikleri mermer ve traverten gibi diğer taşlara göre farklılıklar göstermektedir. Doğal taşların verimli bir şekilde kesilmesi, kesilebilirlik özelliklerinin önceden belirlenmesi ile mümkündür. Bu çalışmada, mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özellikler açısından farklılıklar gösteren asidik ve bazik magmatik kayaların kesilebilirlik karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, tam otomasyonel bir laboratuvar kesme deneyi setinde gerçekleştirilmiştir. Başlıca kesme performansı ölçütleri olarak aktif güç tüketimi ve özgül aşınma parametreleri ele alınmıştır. Deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda, incelenen taşlarda gözlenen kesilebilirlik farklılıkları irdelenmiştir.

ABSTRACT In the world natural stone trade, there is an increasing demand for hard crystalline igneous rocks commercially termed as “granites”. This is mainly due to their high resistance to abrasion and environmental influences, aesthetic properties and capability of taking good polish. However, apart from their textural characteristics, being hard and abrasive stone materials, their sawability characteristics exhibit differences from those of other natural stones such as marbles and travertines. Sawability assessment of natural stones can lead to a

more efficient sawing process. In this work, the sawability characteristics of two acidic and two basic origin commercial granites, varying in their mineralogic-petrographic and physico-mechanical properties, have been experimentally investigated. Circular sawing experiments were performed on a high-precision fully instrumented side-cutting machine. Active power consumption and specific tool wear were considered as the main sawability parameters. Under the light of the experimental findings, the differences between the observed sawability characteristics of the studied stone materials have been interpreted.

1 GİRİŞ

Granitler, renk ve desen bakımından çeşitlilik göstermeleri, iyi cila almaları, dış tesirlere karşı dayanıklı olmaları ve aşınmaya karşı gösterdikleri yüksek direnç gibi özellikleri nedeniyle, yapı ve dekorasyon malzemesi olarak geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Bilimsel anlamdaki “granit” terimi, başlıca kuvars ve feldspat minerallerinden (K-feldspat ve plajiyoklas) oluşan ve daha az miktarda biyotit ve tali mineralleri içeren kristalin yapıdaki magmatik kayalar kapsamaktadır. Bu grup kapsamındaki granitlere “gerçek granitler” de denilmektedir. Ticari anlamda ise, jeolojik kökenine bakılmaksızın, parlatıldığında iyi cila alabilen sert ve kristalin yapıdaki tüm magmatik taşlar “granit” olarak tanımlanmaktadır (örnek: gabro, diyorit, siyenit vb.). Bu çalışmada “granit” terimi ticari anlamda kullanılacaktır. Mineralojik içeriğine bakılarak yapılan bir diğer sınıflamada; yaklaşık % 10- % 60 civarında kuvars içeren kayalar “*asidik*” ve kuvars içermeyenler (veya çok az miktarda kuvars içerenler) ise “*bazik*” kayalar olarak adlandırılmaktadır.

Sahip oldukları farklı dokusal ve mineralojik özellikler, granitlerin elmas soketli dairesel testerelerle işlenmesinde farklı kesilebilirlik karakteristikleri göstermelerine yol açmaktadır. Bu farklılıklar genellikle üretim hızı, enerji tüketimi ve testere ömrü ile ilgili olmaktadır. Granitlerin dairesel testerelerle işlenmesi konusunda birçok araştırma yapılmıştır. İlgili literatür incelendiğinde, yapılan araştırmaların aşağıdaki başlıklar altında toplanabileceği görülmüştür: (i) testere aşınması ve aşınma mekanizmaları (Gunes Yılmaz vd. 2011; Güneş Yılmaz 2011; Tönshoff vd. 2002; Konstanty 2002; Tönshoff ve Asche 1997; Luo 1997; Unver 1996; Ertingshausen 1985), (ii) kesme kuvvetleri ve enerji (Xu vd. 2003; Xu vd. 2002; Jennings ve Wright 1989), (iii) çalışma parametrelerinin etkileri (Fang vd. 2009; Güneş Yılmaz ve Gökten 2008; Buyuksagis 2007; Wang vd. 1995), (iv) kesilebilirlik sınıflaması (Wei 2003; Hausberger 1990), (v) soket özellikleri (Huang vd. 2004; Konstanty 2000; Webb

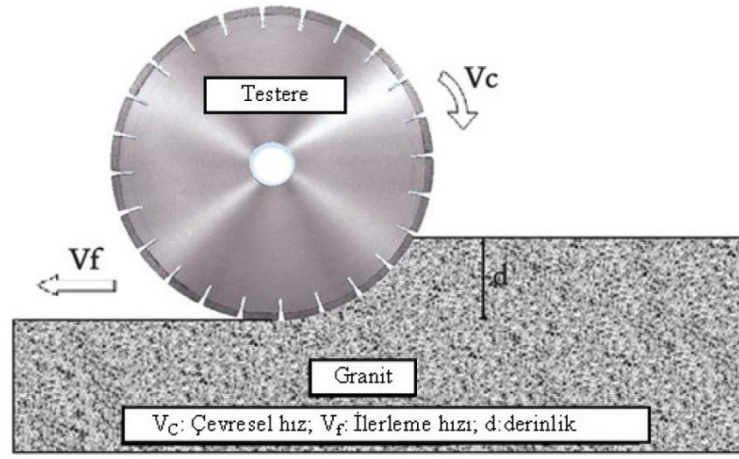
1999; Tönshoff ve Warnecke 1982), talaş kırıntılarının parça boyutu ve şekil parametrelerinin analizi (Günes Yılmaz 2013), (vii) mikro-sertlik ve mineralojik özelliklerin etkileri (Riberio vd. 2007; Delgado vd. 2005).

Bu çalışmanın amacı, asidik ve bazik gruplara ait ticari granitlerin kesilebilirlik özelliklerinin incelenmesidir. Bu amaçla, granit kesimi için üretilmiş elmas soketli bir dairesel testere kullanılarak, seçilen granit örnekleri üzerinde sabit çalışma koşulları altında kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, *Aktif güç tüketimi* ve *özellik aşınma* parametreleri kesilebilirlik ölçütleri olarak ele alınarak, elde edilen verilerin değerlendirilmeleri yapılmıştır. Kesilebilirlik ölçütleri olarak bu iki parametrenin ele alınmasının nedeni, uygulamada enerji ve testere tüketiminin önemli maliyet kalemleri arasında yer almasıdır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Deney Seti

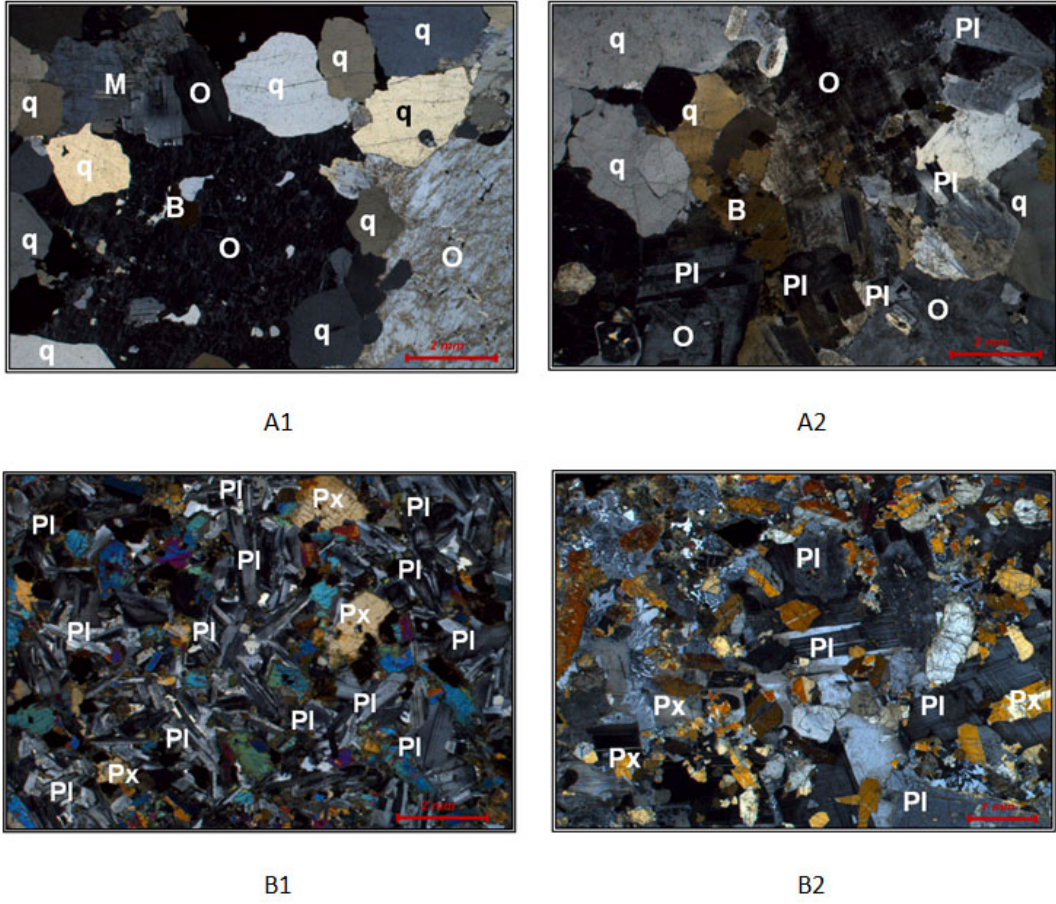
Kesimleri yapılan granit örneklerine ait aktif güç tüketimi ve özgül aşınma değerlerinin ölçülebilmesi amacıyla, bilgisayar kontrollü otomasyonel bir deney seti kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan testere 400 mm çapında olup, üzerinde 3.2 x 9.0 x 40 mm boyutlarında 24 adet elmas soket bulunmaktadır. SDA 85 tipindeki elmasların konsantrasyonu % 20 ve tane boyutları ise 40/50 US mesh dir. Deney seti kesme derinliği (d), testere ilerleme hızı (V_f), testere çevresel hızı (V_c) ve soğutma suyu gibi çalışma parametrelerinin bilgisayarla kontrolüne olanak vermektedir. Deneylerde aşağı-yönlü kesme yöntemi uygulanmıştır (Şekil 1). Kesimi yapılan granit bloklarının her biri 500 mm uzunluğunda, 70 mm yüksekliğinde ve 120 mm genişliğindedir. Her bir seri deney, granit bloğu üzerinde gerçekleştirilen toplam 12 kesimden oluşmaktadır. Kesme deneyleri, kesme derinliği (d=30 mm) ve ilerleme hızı (V_f=0.5 m/dak) tutularak, 150 cm²/dak'lık kesme hızında (Q_w) gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde testere çevresel hızı 30 m/s ve soğutma suyu debisi 15 l/dak olarak seçilmiştir. Kesim esnasındaki anlık güç tüketimleri bir enerji analizörü yardımıyla ölçülerek, daha sonra değerlendirilmek üzere 0.25 s aralıklarla bilgisayar ortamına gönderilmektedir.



Şekil 1. Aşağı-yönlü kesme yöntemi

2.2 Kesimi Yapılan Granitler

Kesme deneylerinin gerçekleştirildiği granitler ticari olarak faaliyet gösteren bir granit işleme tesisinden temin edilmiştir. Çalışmanın amacına bağlı olarak asidik ve bazik kayac gruplarından ikişer adet olmak üzere toplam dört adet granit çalışma kapsamına alınmıştır. Bunlardan asidik gruba ait olanlar alkalen granit (A1 kayacı) ve monzonit (A2 kayacı) olup, bazik gruba ait olanlar ise dolerit (B1 kayacı) ve gabro (B2 kayacı) dır. Anılan kayaçlara ait ince kesit görüntüleri ve mineralojik özellikleri, sırasıyla Şekil 2 ve Çizelge 1-4’de verilmiştir. Örneklerin tek eksenli basma dayanımı deneyleri, kenar uzunlukları 70 mm olan küp örnekler üzerinde TS EN 1926 (2000)’ e göre yapılmıştır. Brazilian çekme dayanımı deneyleri ise, 54 mm çaplı ve kalınlık/çap oranı 1/2 olan karot örnekler üzerinde TS 699 (1987)’ standardına göre gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5).



Şekil 2. Asidik (A1 ve A2) ve bazik (B1 ve B2) örneklere ait ince kesit görüntüleri (*q*: kuvars; *O*: Ortoklaz; *M*: Mikroclin; *Pl*: Plajiyoklas; *Px*: Piroksen; *B*: Biyotit).

Çizelge 1. A1 örneğine ait mineralojik özellikler.

Mineral adı	%	Tane boyu (mm)		
		<i>Min</i>	<i>Ort</i>	<i>Maks</i>
Alkali Feldspat	% 48	0.02	15.0	38.0
Kuvars	% 36	0.04	7.5	30
Plajiyoklas	% 9	0.6	1.6	3.3
Biyotit	% 6	0.06	0.6	2.8
Diğer	% 1	-	-	-

Çizelge 2. A2 örneğine ait mineralojik özellikler.

Mineral adı	%	Tane boyu (mm)		
		<i>Min</i>	<i>Ort</i>	<i>Maks</i>
Plajiyoklas	% 32	0.04	4.0	15
Alkali Feldspat	% 28	0.04	8.0	35
Kuvars	% 27	0.04	5.0	15
Biyotit	% 7	0.02	0.3	0.5
Amfibol	% 4	0.02	2.0	3.0
Diğer	% 2	-	-	-

Çizelge 3. B1 örneğine ait mineralojik özellikler.

Mineral adı	%	Tane boyu (mm)		
		<i>Min</i>	<i>Ort</i>	<i>Maks</i>
Piroksen	% 43	0.06	0.7	2.9
Plajiyoklas	% 36	0.02	0.8	1.6
Amfibol	% 9	0.06	0.36	0.7
Opak mineraller	% 12	0.04	0.2	0.7

Çizelge 4. B2 örneğine ait mineralojik özellikler.

Mineral adı	%	Tane boyu (mm)		
		<i>Min</i>	<i>Ort</i>	<i>Maks</i>
Piroksen	% 44	0.02	0.7	0.9
Plajiyoklas	% 42	0.06	1.0	3.6
Amfibol	% 6	0.04	0.36	0.7
Opak mineraller	% 8	0.02	0.30	0.7

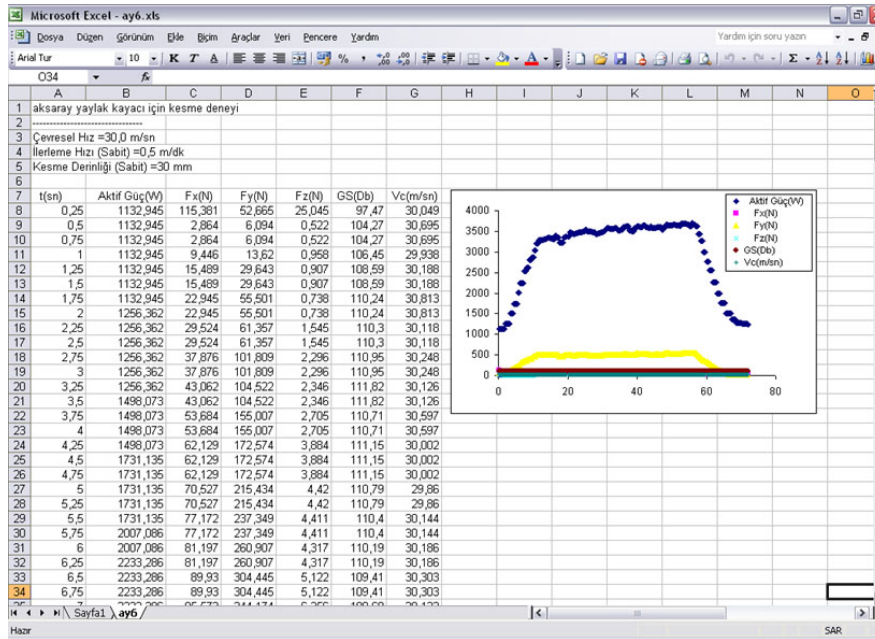
Çizelge 5. Deney örneklerinin mekanik dayanım özellikleri.

Kayaç Adı	Tek eksenli basınç dayanımı, UCS (MPa)	Brazilian çekme dayanımı, BTS (MPa)
A1	143.19 (± 8.28)	9.06 (± 0.76)
A2	145.20 (± 21.38)	8.20 (± 0.41)
B1	268.80 (± 29.16)	27.14 (± 0.98)
B2	262.00 (± 11.39)	25.38 (± 1.20)

2.3 Ölçümleri Yapılan Kesilebilirlik Parametreleri

2.3.1 Aktif güç tüketimi

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 (Şekil 3).



Şekil 3. Anlık aktif güç tüketimi kayıt örneği

2.3.2 Özgül aşınma

Doğal taş işleme tesislerinde enerji tüketiminin yanı sıra, testere ömrü de önemli maliyet kalemleri arasındadır. Bu nedenle, herhangi bir uygulama için en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi istenildiğinde, testerenin özgül aşınma değerlerinden de yararlanılabilmektedir. Özgül aşınma (SW), kesilen birim yüzey alanına karşılık olan testere soketlerindeki radyal

aşınma olup, genellikle $\mu\text{m}/\text{m}^2$ 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 (μm), o deneye ait testere radyal aşınma değeri olarak kabul edilmiştir.

Deneyle sonrasında, her bir granit örneği için bilgisayar ortamına aktarılan aktif güç tüketimi (P) ve özgül aşınma (SW) değerlerinin ortalamaları alınarak (Çizelge 6) değerlendirmeleri yapılmıştır.

Çizelge 6. Kesme deneyi sonuçları.

Kayaç no	Aktif Güç Tüketimi, P (W)	Özgül Aşınma, SW ($\mu\text{m}/\text{m}^2$)
A1	3833.27	168.91
A2	3711.07	139.84
B1	3676.93	231.15
B2	3696.55	234.73

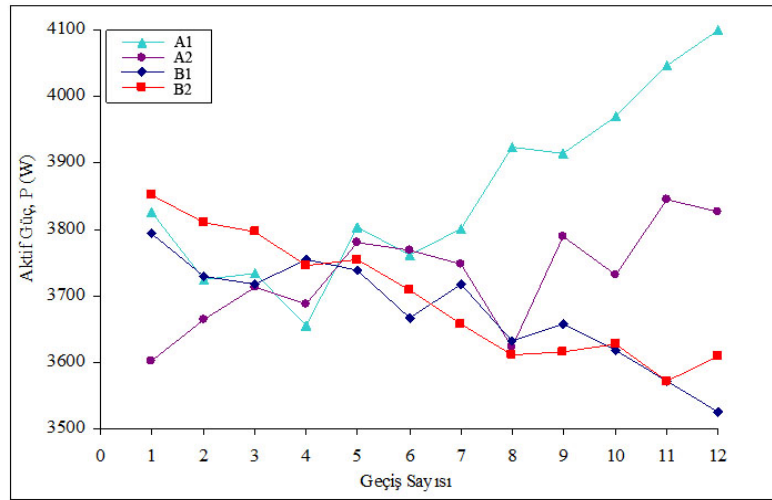
3 DENEYSEL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Asidik gruptaki A1 ve A2 granit örnekleri kendi aralarında değerlendirildiğinde: A1 örneğinin aktif güç tüketimi ve özgül aşınma değerlerinin A2 örneğine göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 6). Mekanik dayanımları birbirine oldukça yakın olan (Çizelge 5) bu iki granit örneğinin farklı güç tüketimi ve özgül aşınma davranışları göstermeleri mineralojik özelliklerinin incelenmesiyle açıklanabilir. Önceki çalışmalar (Gunes Yılmaz vd. 2011; Unver 1996; Wang vd. 1995; Hausberger 1990; Asche 1999) granitlerin kesilebilirlik özellikleri üzerinde en fazla etkiye sahip olan parametrelerin bileşimlerindeki sert minerallerin miktarı ve tane boyutu olduğunu ortaya koymuştur. Sert ve aşındırıcı minerallerin miktarı ve tane boyutu arttıkça kesim kolaylığı azalmaktadır. İri taneli aşındırıcı minerallerin aşındırıcı özelliklerinin daha yüksek olduğu bilinmektedir (Gunes Yılmaz 2011). Çizelge 1 ve 2 bu açıdan incelendiğinde, sert minerallerin (kuvars, alkali feldspat ve plajiyoklas) A1 örneğinde gerek miktar olarak ve gerekse tane boyutu (ortalama/ maksimum) olarak A2 örneğinden oldukça

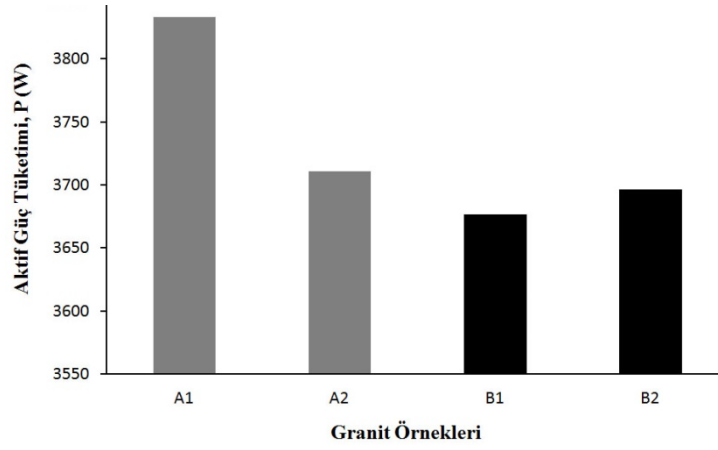
farklı ve yüksek olduğu görülmektedir. *A1* örneğinde özellikle kuvars ve alkali feldspat içeriğinin daha yüksek oluşu dikkat çekicidir. Alkali feldspatların (ortoklaz/mikroklin), plajiyoklaslardan farklı olarak, “*pertitik*” bir doku gösterdikleri ve bu özelliklerinden ötürü kesilebilirliklerinin görece daha zor olduğu bilinmektedir (Gunes Yılmaz vd. 2011). Kısaca değinilen bu mineralojik farklılıklara bağlı olarak, *A1* örneğinin kesimi esnasında testere soketlerindeki elmas tanelerinin çalışma yüksekliklerinde daha hızlı bir azalma olması ve yassılaştırmış (düzleşmiş) elmas tanesi sayısında artış beklenebilir. Kayaç-testere arasındaki bu etkileşimler sonucunda testere özgül aşınma değerlerinde bir artış söz konusu olacaktır. Granitler üzerinde yapılan önceki çalışmalar (Jennings ve Wright 1989) enerji tüketimi ve özgül aşınma değerlerinin genel olarak doğru orantılı olarak değiştiğini ortaya koymuştur. Diğer bir deyişle, özgül aşınma arttıkça enerji tüketimi de artmaktadır. Çizelge 6’da özetlenen deneysel sonuçlar, anılan çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen deneysel bulgulardan hareketle, daha yüksek oranda ve iri taneli sert mineraller içeren asidik granitlerin kesiminde enerji tüketimi ve testere aşınmasının daha fazla olacağı söylenebilir.

Bu çalışmada incelenen asidik ve bazik magmatik kayalara ait karşılaştırmalı deneysel veriler Şekil 4-6 ‘ da sunulmuştur. Şekil 4’te görüldüğü gibi, asidik (*A1* ve *A2*) ve bazik (*B1* ve *B2*) örneklerin aktif güç tüketim değerleri (*P*), bloklar üzerinde yapılan kesimler süresince geçiş sayısına bağlı olarak farklı eğilimler göstermiştir. Başlangıç değerleri referans olarak alındığında, geçiş sayısı arttıkça asidik örneklerdeki aktif güç tüketimi genel olarak artma eğilimi göstermekte, fakat aynı eğilim bazik örneklerde gözlenmemektedir. Çizelge 1-2 ve Şekil 4 asidik kayalar için birlikte değerlendirildiğinde: *A1* örneğini oluşturan sert ve iri taneli minerallerinin *A2* örneğine göre daha fazla olması, kesim devam ettikçe soketler üzerindeki çalışma yüksekliği azalmış ve yassılaştırmış elmas tanelerinin giderek arttığını, ve buna bağlı olarak, aktif güç tüketiminin daha hızlı bir şekilde gerçekleştiğine işaret etmektedir. Şekil 4-6 incelendiğinde, bazik kayaların (*B1* ve *B2*) aktif güç tüketimi ve özgül aşınma değerlerinin asidik kayalara göre (*A1* ve *A2*) daha farklı bir eğilim gösterdiği gözlenmektedir. Gözlenen bu farklılığın, başlıca mineralojik ve dokusal özelliklerden kaynaklandığı söylenebilir. Çalışma kapsamındaki bazik kayaç örnekleri birbirine sıkıca kenetlenmiş ince taneli kristalin dokuya sahip olup, yaklaşık eşit oranlarda piroksen ve plajiyoklas mineralleri içermektedir (Çizelge 3-4). Piroksen mineralleri yüksek miktarda

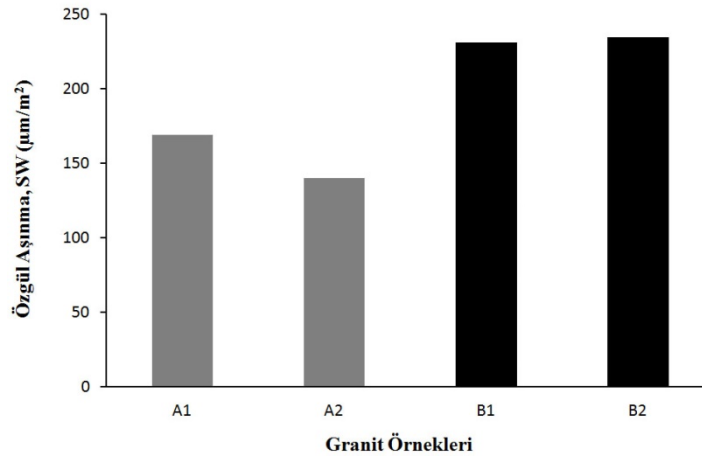
demir ve magnezyum içerdiklerinden “ferromagnezyen” veya “mafik” kayaç olarak adlandırılırlar. Demir ve magnezyumca zengin minerallere sahip kayaçların, soket matriksi üzerindeki ‘bileme’ etkisinin yüksek olduğu bilinmektedir. Matriks, elmas tanelerini bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı soket elemanıdır. Matriksin hızlı bir şekilde aşınması ‘yeni’ elmas tanelerinin soket yüzeyine çıkmasını da hızlandıracaktır. Nitekim yüksek miktarda piroksen içeren gabro/norit örneği üzerinde yapılan bir deneysel çalışmada (Mamalis vd. 1979), soketler üzerindeki yeni ve çalışma yüksekliğini kaybetmemiş elmas tanesi sayısının yüksek oranda kaldığı rapor edilmiştir. Matriksin hızlı bir şekilde aşınması soketlerdeki radyal aşınmaların artmasına yol açacağından, testerenin özgül aşınma değerleri de artacaktır. Bazı kayaç örneklerindeki özgül aşınma değerlerinin asidik olanlara göre daha yüksek olması (Şekil 6) bu görüşü desteklemektedir. Diğer yandan, bileme etkisinden ötürü matriks üzerindeki aşınmalar daha etkin ve hızlı bir şekilde oluşacaktır. Bunun sonucu olarak, daha fazla sayıda yeni ve çalışma yüksekliğini kaybetmemiş elmas tanesi kesme işleminde aktif olarak rol alacağından, aktif güç tüketimi daha düşük seviyede gerçekleşecektir (Şekil 5).



Şekil 4. Geçiş sayısı-aktif güç tüketimi ilişkisi



Şekil 5. Aktif güç tüketimi değerleri



Şekil 6. Özgül aşınma değerleri

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, asidik ve bazik gruplara ait ticari granitlerin kesilebilirlik özellikleri incelenmiştir. Kesilebilirlik ölçütleri olarak aktif güç tüketimi ve özgül kesme enerjisi parametreleri değerlendirilmiştir. Çalışmada varılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

(i) Asidik gruba ait kayaç örnekleri için geçerli olmak üzere; sert ve iri mineraller içeriği daha fazla olan *A1* örneğinin ortalama aktif güç tüketimi ve özgül aşınma değerlerinin, *A2* örneğine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

(ii) Bazik gruba ait kayaç örneklerinin kesilebilirlik özellikleri asidik olanlara göre farklılıklar göstermektedir. Bazik örneklerin (*B1* ve *B2*) özgül aşınma değerlerinin asidik olanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun, bazik kayaç örneklerinde yüksek oranlarda bulunan, demir ve magnezyumca zengin, piroksen mineralinin soket matriksleri üzerindeki ‘bileme’ etkisinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Diğer yandan, bazik kayaç örneklerine ait aktif güç tüketim değerlerinin asidik olanlara göre daha düşük seviyede olduğu görülmüştür.

Bunun nedeni ise, bazik kayalarda matriksin görece hızlı bir şekilde bilenmesi nedeniyle, soket yüzeyinde daha çok sayıda yeni ve çalışma yüksekliğini kaybetmemiş elmas tanesinin bulunacağı şeklinde yorumlanmıştır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, deney örneklerinin mineralojik-petrografik tanımlamalarını büyük bir özveriyle gerçekleştiren Prof. Dr. Yaşar Kibici (Dumlupınar Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü) ve boyutlandırılmış granit örneklerini temin eden Granitaş A.Ş şirketi yetkililerine teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

- Asche J (1999) Deep grinding- a new dimension in cutting granite. *Industrial Diamond Review* 2: 110-122
- Buyuksagis IS (2007) Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond blades. *Journal of Materials Processing Technology* 183: 399-406.
- Delgado NS, Rey-Rodriguez A, Suarez del Rio LM, Sarria ID, Calleja L, Ruiz de Argandona VG (2005) The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain), *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 42: 161-162.
- Ertingshausen W (1985) Wear processes in sawing hard stone. *International Diamond Review* 45: 254-258.
- Fang CF, Xu XP (2009) The effect of machining parameters on measured temperatures and energy partition in circular sawing of granite. *Materials Science Forum* 626-627: 213-218.
- Gunes Yılmaz N, Goktan RM, 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: 960-996.
- Günes Yılmaz N, Goktan RM, Gaşan H, Çelik ON (2013) Particle size distribution and shape characterization of the chips produced during granite machining in relation to process forces and specific energy. *Particulate Science and Technology* 31: 277-286.
- 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, Goktan RM (2008) Effect of sawing rate on force and energy requirements in the circular sawing of granites. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, C.XXI, S.2, s. 59-74.
- Hausberger P (1990) Stone Machinability. *Industrial Diamond Review* 5: 258-261
- Huang H, Zhu HM, Xu XP (2004) Grinding of granite with three kinds of diamond tools. *Key Engineering Materials* 259-260: 146-150.
- Jennings M, Wright DN (1989) Guidelines for sawing stone. *Industrial Diamond Review* 2: 70-75.
- Konstanty J (2000) Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone. *Industrial Diamond Review* 1: 55-65.
- Konstanty J (2002) Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of Materials Processing Technology* 123: 146-154.
- Luo SY (1997) Investigation of the worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite. *Journal of Materials Processing Technology* 70: 1-8.
- Mamalis AG, Schulze R, Tönshoff HK (1979) The slotting of blocks of hard rock with a diamond segmented circular sawblade. *Industrial Diamond Review* October: 356-365.
- Riberio R, Paraguassu A, Rodrigues J (2007) Sawing of blocks of silicious dimension stone: influence of texture and mineralogy. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 66: 101-107.

- Tönshoff HK, Hillman-Apmann H, Asche J (2002) Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and application. *Diamond and Related Materials* 11: 736-741.
- Tönshoff HK, Asche J (1997) Wear of metal-bond diamond tools in the machining of stone. *Industrial Diamond Review* 1: 7-13.
- Tönshoff HK, Warnecke G (1982) Research on stone sawing. *Advances in Ultrahard Materials Application Technology* 1: 36-49.
- TS 699 (1987) Yarmada çekme mukavemeti deneyi, s. 30-32.
- TS EN 1926 (2000) Doğal taşlar-deney metodları-basınç dayanımı tayini, s.10
- Unver B (1996) A statistical method for practical assessment of sawability of rocks. *Proc. of ISRM Int. Symp. Eurock 96'*, Barla (Edt.), Balkema, Rotterdam, pp. 59-65.
- Wang CY, Wei X, Tang ZL, Pan ZC (1995) The role of coolant in granite sawing. *Industrial Diamond Review* 4:156-160.
- Webb SW (1999) Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling. *Diamond and Related Materials* 8: 2043-2052.
- Wei X, Wang CY, Zhou ZH (2003) Study on the fuzzy ranking of granite sawability. *Journal of Materials Processing Technology* 139: 277-280.
- 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 XP, Li Y, Zeng WY, Li LB (2002) Quantitative analysis of the loads acting on the abrasive grits in the diamond sawing of granites. *Journal of Materials Processing Technology* 129:50-55.