Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 025806(420-430) AKU J. Sci. Eng. 16 (2016) 025806(420-430)
DOI: 10.5578/fmbd.27592

Araştırma Makalesi / Research Article

Bilgisayar Kontrollü Makine (CNC) ile Mermerlerin İşlenebilirliğinde Kesme Kuvveti ve Spesifik Enerjinin Belirlenmesi

Gencay SARIIŞIK[1], Erkan ÖZKAN[2]

[1] *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Afyonkarahisar.*
[2] *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Bölümü, Afyonkarahisar.*
e-posta:gsariisik@gmail.com

Geliş Tarihi: 27.04.2016; Kabul Tarihi: 10.06.2016

Anahtar kelimeler
"Mermer", "Bilgisayar kontrollü makine (CNC)", "İlerleme hızı", "Kesme derinliği", "Kesme Kuvvet", "Spesifik enerji"

Özet

Bu çalışmada, bilgisayar kontrollü makine (CNC) ile mermerlerin işlenebilirliğinde kesme kuvveti ve spesifik enerjisi belirlenmiştir. Piyasada yaygın olarak kullanılan ve oluşumlarına göre sınıflandırılmış, 5 farklı tür mermer üzerine araştırma yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda, parmak frezeli kesici uç (6.0 mm) ile farklı işleme türü (dış hatlar ve çizgisel), kesme derinliği (1.2, 1.6 ve 2.0 mm), ilerleme hızı (2000, 2500 ve 3000 mm/dk) parametreleri seçilmiştir. Bilgisayar kontrollü makine ile yapılan işlenebilirlik deneylerinde işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızına göre Fz, Fc ve Ft kuvvetleri ve spesifik enerji değerlerinin istatistiksel analizi yapılmıştır. Mermerlerin kuvvet değerleri ve spesifik enerji değerleri bakımından $p<0.001$ anlamlılık düzeyinde işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Sonuç olarak bu çalışmada, işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızının işlenebilirliği etkilediği belirlenmiştir.

Determination of Cutting Force and Specific Energy the Processability of Marbles with Computer Numerical Controlled (CNC) Machine

Keywords
"Marbe", "Computer-Controlled Machine (CNC)", "Feed Speed", "Depth of cut", "Cutting Force", "Specific energy"

Abstract

In this study, computer numerical controlled machine (CNC) with cutting force and specific energy the processability of marbles were determined. A total of 5 different types of marble were categorized according to their commercially used and geological formations research has been conducted. In experimental study, mill cutting tool (6.0 mm) with different processing type (external lines and linear), depth of cut (1.2, 1.6 and 2.0 mm) and feed speed (2000, 2500 and 3000 mm/min) parameters were selected. The effects of processing type, depth of cut and feed speed of processing equipment of computer numerical controlled machine on the processability of marbles were diagnosed forces (Fz, Fc and Ft) and specific energy values were analyzed statistically. In terms of forces (Fz, Fc and Ft) and specific energy values, a statistically significant difference ($P<0.001$) was obtained among processing type, depth of cut and feed speed. As a result of this study it was determined that the parameters that affected processability of marbles were processing type, depth of cut and feed speed.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

"

1. Giriş

Mermerler yenilenemeyen doğal kaynaklar olması ve farklı şekillerde işlenebilmesi nedeniyle mimarlar tarafından yapılarda tercih edilmektedir. İki boyutlu ve üç boyutlu farklı tasarımların standart olarak işlenmesi bilgisayar kontrollü nümerik makineler (CNC) ile gerçekleştirilmektedir. İç ve dış mekânda farklı ürün tasarımlarına olan talepten dolayı doğal taş sektöründe doğal taş CNC makinelerin kullanımı son yıllarda yaygınlaşmaktadır. CNC doğal taş işleme makineleri, doğal taş üzerine sınırsız sayıda tasarımın uygulanabilmesi ve işleme sırasında hata toleranslarının çok düşük olması nedeniyle doğal taş firmaları tarafından tercih edilmektedir. Bu makineleri kullanan doğal taş firmaları katma değeri yüksek ürünler üreterek rekabette üstünlük sağlamaktadır.

Bilgisayar kontrollü makine (CNC), CAM programında tasarımı yapılan ürünün sayı, harf ve semboller ile tanımlanan NC kodlara verilen mantıksal işlem sırasına göre malzemeleri işleyen elektromekanik sistemlerdir. Günümüzde torna tezgâhlarının yerini alan CNC tezgâhlar ağaç, mermer, plastik, kompozit gibi malzemelerin işlendiği sektörlerde kullanılmaktadır (Cevindik 2009; Sarıışık ve Oyman, 2009; Sarıışık ve Özkan 2015).

Mermerlerin kesilebilirliği ele alındığında; dairesel testerelerde soketlerin modellenmesi kesme kuvvetlerinin saptanması, özgül kesme enerji konularında aşağıdaki araştırmacıların çalışmalarıyla karşılaşılacaktır (Akdaş ve Yurdakul 2014; Aslantaş et al. 2009; Bayram et al. 2002; Bayram 2013; Büyüksağiş vd. 2003; Ersoy ve Atıcı 2004; 2005; Han et al. 2007; Hu et al. 2006; Karakurt et al. 2013; Tönshoff et al. 2002; Turchetta 2009; Ucun et al. 2011; 2012; 2013; Yilmazkaya ve Özçelik 2015; Yurdakul ve Akdaş 2012; Yu et al. 2006; Xu et al. 2003; Wang et al. 2004). Bu çalışmalara ilave olarak; Asche etal. (1999), Brach etal. (1988), Hwang & Malkin (1999) ve Jerro etal. (1999) gibi araştırmacıların yaptığı çalışmalarda da; teorik talaş geometrilerinin tanımlanması, teğetsel kesme kuvveti ile talaş kalınlığı arasındaki bağıntılar, özgül kesme enerjisinin belirlenmesi ve takım aşınması üzerine işleme parametrelerinin etkisi ve spesifik öğütme enerjisi ile ilgili sonuçlara rastlanmaktadır.

CNC ile işlenen kayaçların kesici uç takımlarını etkileyen parametreler üzerine yapılan çalışmalar oldukça az ve kısıtlıdır. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda ise içten soğutmalı kesici uçlar kullanarak, daha düşük devir hızı ve ilerleme hızında kesme kuvvetleri, spesifik enerji ve elmas kesici uçların aşınmaları belirlenmiştir (Polini & Turchetta 2004; Turchetta 2012). Bu çalışmada, bilgisayar kontrollü makine (CNC) ile karbür esaslı frezeli kesici uç takımları kullanılarak, 5 farklı mermer türünde; işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızı parametreleri seçilerek, Fz, Fc ve Ft kuvvetleri ve spesifik enerji değerleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışmada kullanılan mermerler

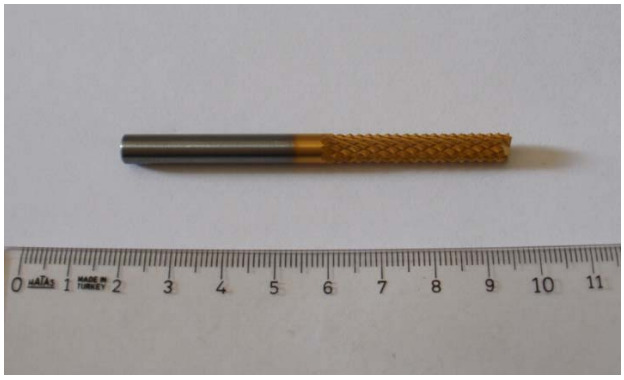
Deneysel çalışmalarda, Afyon İscehisar mermer ocaklarından çıkarılan metamorfik kökenli kayaçlar (mermerler) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar için hazırlanan mermer numunelerinin boyutları, sayısı ve yüzey özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmada kullanılan mermer numunelerinin özellikleri

Mermerlerin Ticari Adı	Kod	Numune Boyutu (mm)	Numune Sayısı	Yüzey İşlemesi
Afyon Beyaz	M1	300 × 300 × 30	15	Cilalı
Afyon Şeker	M2			
Afyon Gri	M3			
Afyon Menekşe	M4			
Afyon Kaplanpostu	M5			

2.2 Çalışmada kullanılan kesici uç takımı

CNC doğal taş işleme makinesinde işlenebilirlik deneyleri için karbür esaslı parmak frezeli kesici uç takımı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan frezeli kesici uç takımının görünümü Şekil 1'de, teknik özellikleri de Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Freze kesici ucun görünümü.

Tablo 2. Deneysel çalışmada kullanılan frezeli kesici ucun teknik özellikleri

Kod	MFR-6
Kesici Uç Çapı/d_1 (mm)	6
Sap Çapı/d_2 (mm)	6
Kesici Uzunluk/l_2 (mm)	25
Uç Uzunluk /l_1 (mm)	76
Freze Ucu	36677
Ağız Sayısı	4
Helis Açısı (°)	25

2.3 CNC doğal taş işleme makinesi

CNC doğal taş işleme makineleri, genelde, üzerine malzemenin konulacağı çalışma tezgâhı, elektrik motoru, farklı parçaların hareketini sağlayan pnömatik veya hidrolik güç üniteleri, kontrol paneli ve yazılımdan oluşan makine sistemleridir (Şekil 2).



Şekil 2. CNC doğal taş İşleme makinesi

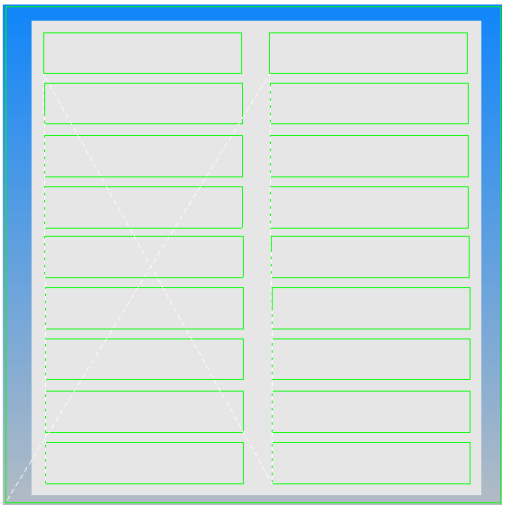
Bu çalışmada, AKÜ-Doğaltaş İşleme Laboratuvarında doğal taş sektörü için kullanılan Megatron Marka 4-Eksenli CNC makinesi kullanılmıştır. CNC doğal taş işleme makinesinin teknik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. CNC doğal taş işleme makineleri teknik özellikleri

İşleme özellikleri	Birim	Değerler
Spindle motor	kW	9
Eksen sayısı	adet	4
Motorun devri	rpm	24000
İşlem devri	rpm	24000
Motorun X ekseni ilerleme hızı:	mm/dk	80000
Voltaj:	V	380
İşleme boyu	mm	4000-4500
İşleme eni	mm	2000-2500
İşleme yüksekliği	mm	500-600
Tezgah yüksekliği	mm	700-750
Tezgah boyu	mm	2500-3000
Soğutma suyu	l/dk	3
Otomatik takım sayısı	adet	8

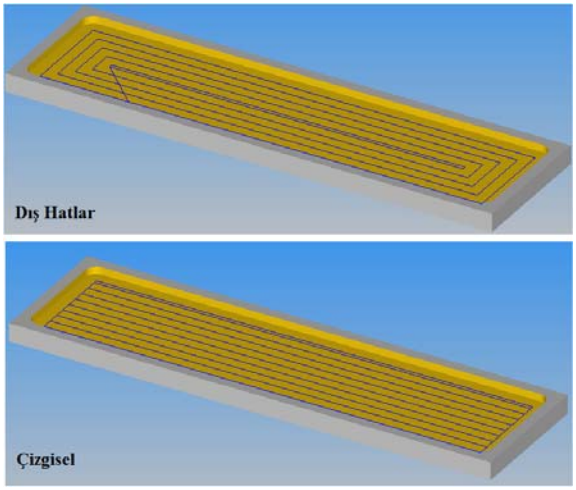
2.4. CNC doğal taş işleme makineleri ile işlenebilirlik deneyleri

Afyon Kocatepe Üniversitesinde bulunan CNC doğal taş işleme makinesinde işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızı parametrelerine göre mermerlerin işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan doğal taşlar üzerinde yapılacak işlemler ve kesim parametrelerinin belirlenmesinde Alpha CAM çizim programı kullanılmıştır. Deneysel çalışma işlenecek doğal taşın 120×25 mm boyutundaki 18 adet dikdörtgenin tasarımı üç boyutlu olarak çizim programında oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Mermer numunelerin çizim programında modellenmesi

Deneysel çalışmalarda işleme türü "9 adet dış hatlar" ve "9 adet çizgisel hatlar" dikdörtgen şeklinde mermerlerin işlenebilirlik deneyleri için modellenmiştir. Modellenen dikdörtgenlerde kesme parametresi olarak 1.2, 1.6ve 2.0 mm kesme derinliği ve 2000-2500-3000 (mm/dk) ilerleme hızı seçilmiştir. "Dış hatlar" işleminde CNC makinesinin kesici ucu, numunenin orta kısmından, içten dışarı doğru genişleyerek, enine ve boyuna doğru yaptığı talaşlama harekettir. "Çizgisel işlemde" CNC makinenin kesici ucu, numunenin bir kenarından diğer kenarına doğru doğrusal olarak ileri geri hareketlerle talaşlama yapmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Dış hatlar ve çizgisel işleme türünün simülasyon görünümü.

Bu çalışmada, mermer numunelerinin işlenebilirlik deneyleri CNC makinesi güç ve yük ölçer test cihazı ile beraber çalışan "Defne Lab Soft" yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu test cihazı ölçüm ünitesi, kontrolör ünitesi ve "Defne Lab Soft" Programından oluşmaktadır. Test cihazında numune üstüne uygulanan kuvvetlerin ölçülmesi amacıyla; Z eksenindeki kuvvetler için 4 adet yük hücresi kullanılırken, X ve Y eksenindeki kuvvetler için de ayrıca 4 adet yük hücresi kullanılmıştır. PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) den gelen verilerin (100 (ms) aralıklarla ölçülen güç (watt) ve kuvvet (N) verileri) kayıt işlemleri "Defne Lab soft CNC" yazılımı ile gerçekleştirilmektedir. CNC makinesine bağlanan güç ve yük ölçme cihazlarının görünümü Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. CNC makinesine bağlanan güç ve yük ölçme cihazlarıyla yapılan ölçüm işlemi.

CNC doğal taş işleme makinesinde mermer numunelerinin deneysel olarak işlenebilirliği için bu araştırmada kullanılan parametreler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Deneysel işlenebilirlik çalışmasında kullanılan mermerlerin işleme parametreleri

Mermer Numuneleri	**M1-M2-M3-M4-M5**
İşleme Türü	Dış Hatlar-Çizgisel
Kesici Uç Çapı (mm)	6.0
Kesme Derinliği (mm)	1.20-1.60-2.00
Devir Hızı (d/dk)	10000
İlerleme Hızı (mm/dk)	2000-2500-3000
Dalış Hızı (d/dk)	1000
Kesme Hızı (m/dk)	188
Kesme Genişiliği (mm)	3.0

Güç ve yük ölçer test cihazında yapılan deneylerde Defne Lab Soft Programı ara yüzü ile ölçülen F_x, F_y ve F_z kuvvet değerleri yazılıma kaydedilmiştir.

Kesme hızı, kesici çapı (mm), mil hızı (d/dk), π (pi) sayısı ve zaman parametrelerine bağlı olarak hesaplanması eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (1)$$

Vc = Kesme hızı (m/dk)

n = Mil hızı (d/dk)

D = Kesici çapı (mm)

F_x ve F_y kesme kuvvetleri sırasıyla eşitlik 2 ve 3'de verilmiştir ;

$$F_x = |F_{x1}| + |F_{x2}| \quad (2)$$

F_x=Kesme kuvveti (N)

F_{x1}= Mutlak ileri kesme kuvveti(N)

F_{x2}= Mutlak geri kesme kuvveti(N)

F_y kesme kuvveti eşitlik 3;

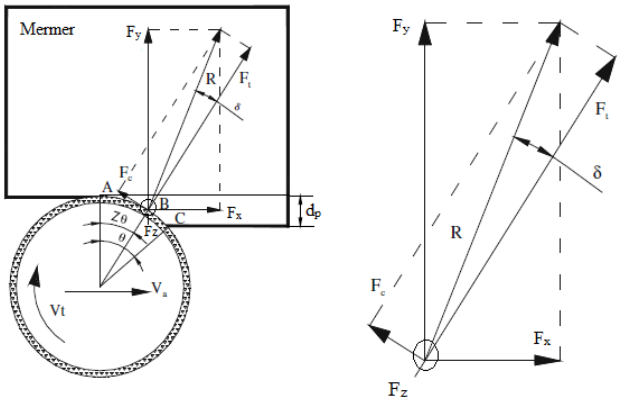
$$F_y = |F_{y1}| + |F_{y2}| \quad (3)$$

Fy=Kesme kuvveti (N)

F_{y1}= Mutlak ileri kesme kuvveti (N)

F_{y2}= Mutlak geri kesme kuvveti (N)

Mermer plaka numunelerinin işlenmesi sırasında oluşan kuvvetlerin vektörel olarak gösterimi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. İşleme sırasında kuvvetlerin şematik gösterimi

R bileşke kuvveti, F_x ve F_y kesme kuvvetleri kullanarak N cinsinden hesaplanması eşitlik 4'de verilmiştir;

$$R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (4)$$

R= Bileşke Kuvveti (N)
F_x= Kesme Kuvveti (N)
F_y= Kesme kuvveti (N)
R ve F_x arasındaki β açısı eşitlik 5'de verilmiştir;

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) \quad (5)$$

Freze kesici uç ile kayaç arasındaki θ temas açısı eşitlik 6'da; Kesme kuvvetinin teğetsel kuvveti F_c ve radyal kuvveti F_t bileşenleri, elde edilen R değeri ile hesaplanması eşitlik7 ve eşitlik 8'de, F_t ve F_c arasındaki δ açısı eşitlik 9'da, Z parametresi ise eşitlik 10'da verilmiştir;

$$\theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{2dp}{d}\right) \quad (6)$$

$$F_c = R\sin\delta \quad (7)$$

$$F_t = R\cos\delta \quad (8)$$

$$\delta = \beta - Z\theta \quad (9)$$

Z parametresi, kesici uçla kayaç arasındaki temas AC yayı üzerindeki bileşke kuvvetin R uygulama noktasının konumuna bağlıdır.

Z parametresi eşitlik 10;

$$Z = \frac{AB}{AC} \quad (10)$$

Mermerlerin işlenebilirlik süresi (t) boyunca kesici ucun bağlı olduğu 7,5 kW'lık ana elektrik motorundan elde edilen güç tüketim değerleri (P) talaş hacmi (Q_w) oranından spesifik enerji değerleri hesaplanmıştır. Talaş hacmi eşitlik 11'de gösterilmiştir.

$$Q_w = b \times l \times d_{p(1,2,3)} \quad (11)$$

Q_w = Talaş hacmi (mm^3)
b = Numunenin boyu (mm)
l = Numunenin eni (mm)
$d_{p(1,2,3)}$ = Kesme derinliği (mm)

Toplam spesifik enerji eşitlik 12 ile hesaplanmaktadır;

$$S_e = \frac{\frac{\sum_{j=1}^{n} P_j}{n} \times \sum_{j=1}^{n} t_j}{Q_{w(1,2,3)}} \quad (12)$$

S_e = Toplam Spesifik Enerji (J/mm^3)
P = Güç tüketimi (Watt)
t = Toplam zaman (s)
Q_w = Talaş hacmi (mm^3)

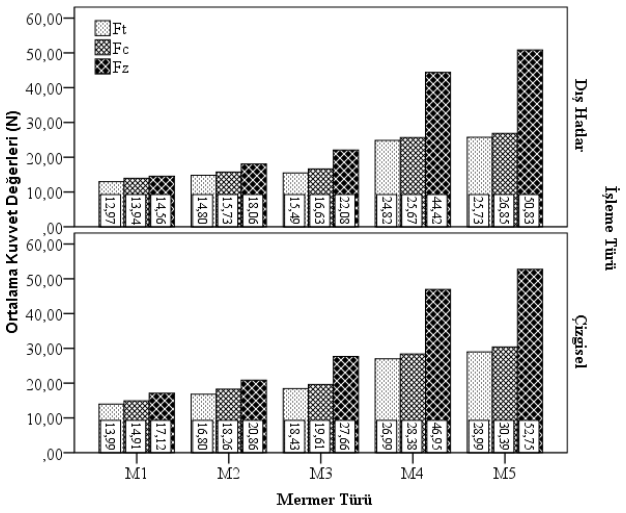
3. Bulgular ve Değerlendirmeler

3.1 Mermerlerin işlenebilirlilik deneylerinde kuvvet değerlerinin analizi

Çalışmada işlenebilirlilik deneylerinde kullanılan 5 mermer türü için, 2 işleme türü, 3 kesme derinliği, 3 ilerleme hızı, 3 farklı kuvvet ile ilişkisi varyans (ANOVA) yöntemi kullanarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Mermer numunelerinde Fz, Fc ve Ft kuvvet değerleri bakımından $p<0.001$ anlamlılık düzeyinde işleme türü arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Buna göre mermerlerin işlenebilirliğinde işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızının etkili olduğu görülmüştür (Tablo 5).

Mermerlerin çizgisel işleme türünde kuvvet değerlerinin, dış hatlardaki işleme türündeki kuvvet değerlerine göre daha yüksek olduğu Şekil 7'de görülmektedir. M1, M2 ve M3 mermerlerinin kuvvet değerlerinin, M4 ve M5 mermerlerinin kuvvet değerlerine göre daha düşük olmasından

dolayı işlenebilirliğinin daha kolay olduğu görülmektedir.



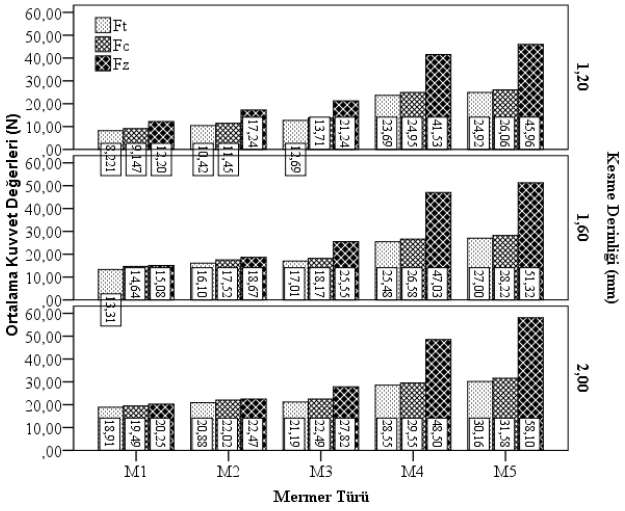
Şekil 7. Mermerlerin işlenebilirlilik deneylerinde işleme türüne göre kuvvet ölçüm değerleri

Mermerlerde kesme derinliği arttıkça mermerlerin işlenebilirliği sırası boyunca elde edilen ortalama Fz, Fc ve Ft kuvvet değerlerinin artığı Şekil 8'de görülmektedir. Kuvvet değerlerinin artmasından M5 mermerinin 2.0 mm kesme derinliğinde işlenebilirliğinin zor olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Mermerlerin kuvvetlerinin işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızına göre istatistiksel analizi

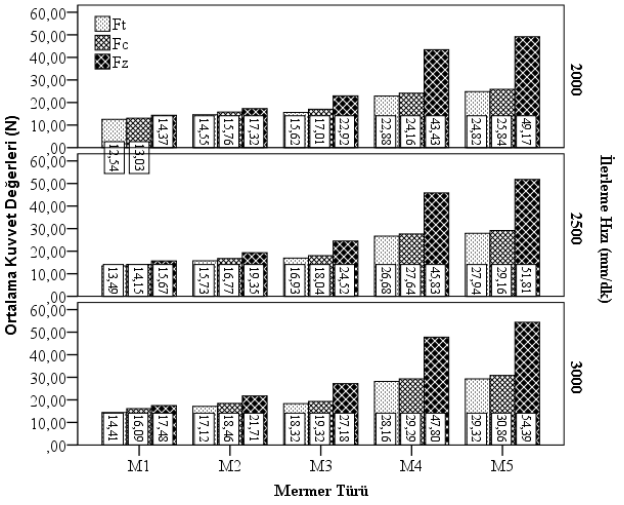
			Kuvvet Değerleri (N)				95% Güven Aralığı	
Kuvvet Türü	**İşleme Türü**	**Veri Sayısı**	**Ortalama Kuvvet (N)**	**Standart Sapma (N)**	**Standart Hata (N)**	**Anlamlılık Düzeyi**	**Alt Limit**	**Üst Limit**
Fz	Dış Hatlar	45	29.99	15.39	2.29396	<0.001	25.37	34.61
	Çizgisel	45	33.07	14.97	2.23140	<0.001	28.57	37.57
Fc	Dış Hatlar	45	19.77	6.49	0.96864	<0.001	17.81	21.72
	Çizgisel	45	22.31	7.38	1.10055	<0.001	20.09	24.53
Ft	Dış Hatlar	45	18.76	6.55	0.97603	<0.001	16.79	20.73
	Çizgisel	45	21.04	7.19	1.07156	<0.001	18.88	23.20
Kesme Derinliği (mm)								
F_z	1,20	30	27.64	13.97	2.54884	<0.001	22.42	32.85
	1,60	30	31.53	15.32	2.79664	<0.001	25.81	37.25
	2,00	30	35.42	15.67	2.86162	<0.001	29.57	41.28
F_c	1,20	30	17.06	7.47	1.36369	<0.001	14.27	19.85
	1,60	30	21.03	5.80	1.05884	<0.001	18.86	23.19
	2,00	30	25.03	5.44	0.99261	<0.001	22.99	27.06
F_t	1,20	30	15.99	7.38	1.34807	<0.001	13.23	18.75
	1,60	30	19.78	5.77	1.05353	<0.001	17.62	21.93

	2,00	30	23.94	5.19	0.9478	<0.001	21.99	25.88
İlerleme Hızı (mm/dk)								
F_z	2000	30	29.44	14.83	2.7080	<0.001	23.90	34.98
	2500	30	31.43	15.36	2.8046	<0.001	25.69	37.17
	3000	30	33.71	15.53	2.8352	<0.001	27.91	39.51
F_c	2000	30	19.16	6.26	1.1424	<0.001	16.82	21.49
	2500	30	21.15	7.25	1.3239	<0.001	18.44	23.86
	3000	30	22.80	7.29	1.3312	<0.001	20.08	25.52
F_t	2000	30	18.08	6.19	1.1301	<0.001	15.77	20.39
	2500	30	20.15	7.06	1.2889	<0.001	17.52	22.79
	3000	30	21.47	7.30	1.3327	<0.001	18.74	24.19



Şekil 8. Mermerlerde işlenebilirlilik deneylerinde kesme derinliğine göre kuvvet ölçüm değerleri.

Şekil 9'da görüldüğü gibi mermerlerde ilerleme hızı arttıkça kuvvet değerlerinde artış olduğu görülmektedir. M1, M2 ve M3 mermerlerinin kuvvet değerleri 2000 mm/dk ilerleme hızında daha düşük değerler alırken, M4 ve M5 mermerlerinin kuvvet değerleri 3000 mm/dk ilerleme hızında daha yüksek değerler aldığı tespit edilmiştir. M4 ve M5



mermerlerinin 3000 mm/dk ilerleme hızında işlenebilirliği zor olduğu belirlenmiştir.

Şekil 9. Mermerlerde işlenebilirlilik deneylerinde ilerleme hızına göre kuvvet ölçüm değerleri.

3.2 Mermerlerde işlenebilirlilik deneylerinde spesifik enerji değerlerinin analizi

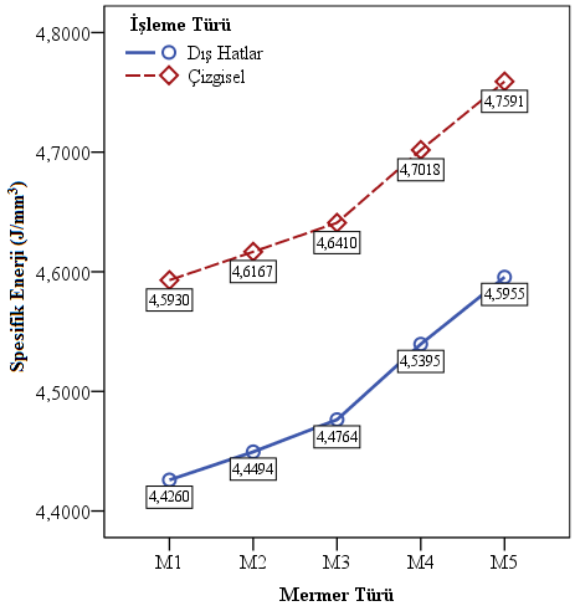
Çalışmada işlenebilirlilik deneylerinde kullanılan 5 mermer türü için, 2 işleme türü, 3 kesme derinliği, ve 3 ilerleme hızının, mermerlerin işlenmesi

sırasında harcanan spesifik enerji ile ilişkisi araştırılmış, deney sonuçları varyans (ANOVA) yöntemi kullanarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Mermerlerin spesifik enerji değerleri bakımından p<0.001 anlamlılık düzeyinde işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır. Buna göre mermerlerin işlenebilirliğinde "işleme türünün", kesme derinliği ve ilerleme hızı üzerinde etkili olduğu görülmüştür (Tablo 6).

Tablo 6. Mermerlerin spesifik enerjilerinin işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızına göre istatistiksel analizi

İşleme Türü	Veri Sayısı	Spesifik Enerji (J/mm³)				95% Güven Aralığı	
		Spesifik Enerji Ortalama (J/mm³)	Standart Sapma (J/mm³)	Standart Hata (J/mm³)	Anlamlılık Düzeyi	Alt Limit	Üst Limit
Dış Hatlar	45	4.4974	1.04097	0.1551780	<0.001	4.1846	4.8101
Çizgisel	45	4.6623	1.07411	0.1601186	<0.001	4.3396	4.9850
Kesme Derinliği (mm)							
1,20	30	5.8017	0.6150	0.1122823	<0.001	5.5720	6.0313
1,60	30	4.3894	0.4582	0.0836587	<0.001	4.2183	4.5605
2,00	30	3.5484	0.3810	0.0695587	<0.001	3.4062	3.6907
İlerleme Hızı (mm/dk)							
2000	30	5.1752	1.0731	0.1959270	<0.001	4.7745	5.5759
2500	30	4.5242	0.9402	0.1716502	<0.001	4.1732	4.8753
3000	30	4.0401	0.8419	0.1537163	<0.001	3.7257	4.3545

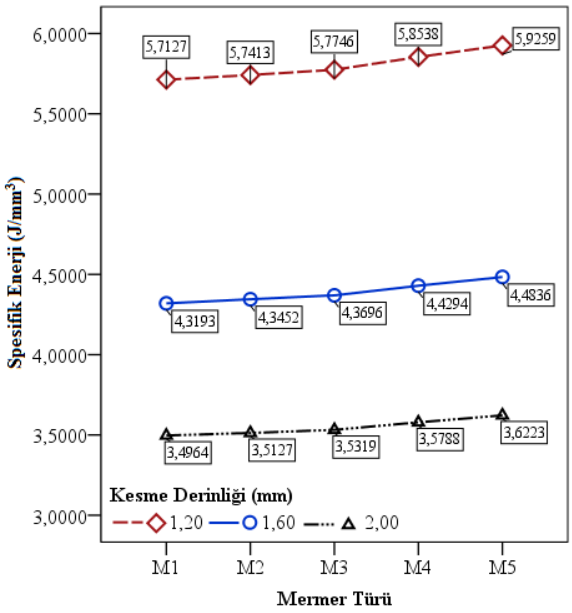
Mermerlerde "çizgisel işleme türünde" elde edilen spesifik enerji değerlerinin, "dış hatlar işleme türünde" elde edilen spesifik enerji değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüş ve bu sonuç Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Mermerlerin işlenebilirlilik deneylerinde işleme türüne göre toplam spesifik enerji değerleri

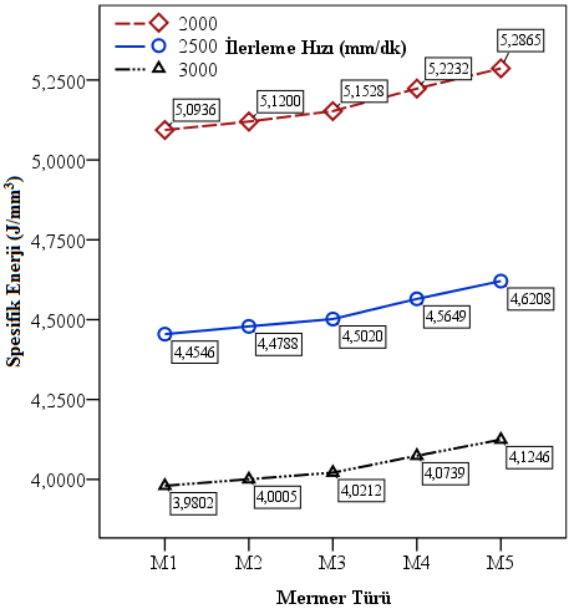
Mermerlerde dış hatlar ve çizgisel işlem türünde sırasıyla spesifik enerji değerleri artmaktadır. M4 ve M5 mermerlerinde spesifik enerji değerlerine göre işlenebilirliğinin diğerlerine göre zor olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte M1, M2, ve M3 mermerlerinde dış hatlar işlem türünde spesifik enerji değerlerinin düşük olmasından dolayı tercih edilebileceği belirlenmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan tüm mermerlerin 2.0 mm kesme derinliğindeki spesifik enerji değerlerinin 1.2 mm ve 1.6 mm'ye göre daha düşük olduğu Şekil 11'de görülmektedir. CNC doğal taş işleme makinesinde yapılan deneylerde kullanılan kesici ucun 2.0 mm kesme derinliğinde tüm mermerleri en uygun şekilde işlediği belirlenmiştir.



Şekil 11. Mermerlerde işlenebilirlilik deneylerinde kesme derinliğine göre spesifik enerji değerleri.

Deneysel çalışmada kullanılan tüm mermerlerin 2000 mm/dk ilerleme hızında spesifik enerji değerlerinin 2500 ve 3000 mm/dk ilerleme hızına göre daha yüksek olduğu bulunmuş ve bu sonuç Şekil 12'de de görülmektedir.



Şekil 12. Mermerlerde işlenebilirlilik deneylerinde ilerleme hızına göre spesifik enerji değerleri

M1, M2 ve M3 mermerlerinde 3000 mm/dk ilerleme hızındaki spesifik enerji değerleri daha düşükken, M4 ve M5 mermerlerinde yapılan deneylerde 2000 mm/dk ilerleme hızında spesifik enerji değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu araştırmanın sonuçlarında da görüldüğü gibi, mermerlerden elde edilen spesifik enerji değerlerine göre 3000 mm/dk ilerleme hızının ilgili makine kullanımlarında tercih edilen ilerleme hızı olarak ön görülmesi gerekmektedir.

4. Sonuçlar

Çalışmada kullanılan istatistiksel analize göre (ANOVA analizi) göre işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızının kuvvet ve spesifik enerji değerlerini anlamlı ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Mermerlerin işlenebilirliğinde işleme türü, kesme derinliği ve ilerleme hızının en önemli değişken olduğu tespit edilmiştir. Kuvvet değerlerinin çizgisel işleme türü, 2.0 mm kesme derinliği ve 3000 mm/dk ilerleme hızında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kesme derinliğinin 2.0 mm olduğu durumda kesici ucun birim zamanda kesmesi gereken mermer talaş miktarının artmasına bağlı olarak sürtünme kuvvetlerinin artmasından dolayı işlenebilirliğin zorlaştığı belirlenmiştir. Spesifik enerji değerlerinin, çizgisel işleme türü, 1.2 mm kesme derinliği ve 2000 mm/dk ilerleme hızında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Spesifik enerji miktarının en düşük elde edildiği işleme parametreleri, makinenin işlemesini en verimli şekilde yaptığını göstermektedir. Kesme derinliği arttıkça spesifik enerji değerleri azalmakta, kesme verimliliği düşmektedir. Bunun nedeni makinenin tüketim gücüne karşılık mermerlerde kaldırılan talaş hacminin az olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle mermerlerde 1.2 mm kesme derinliğinde spesifik enerji değerlenin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma; Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (proje numarası 13.GÜZSAN.01) ve Zafer Kalkınma Ajansı Sosyal Kalkınma Mali Destek Programı (proje numarası TR33/12/SKMDP/0104) tarafından desteklenmiştir. Katkıları için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Akdas, H., & Yurdakul, M. 2014. Analysis of the Industrial Cutting Process of Natural Building Stones: Evaluation of Electric Power Consumption. *Journal of Testing and Evaluation,* **42**(4), 1-11.

Asche J, Tönshoff HK, Friemuth T 1999. Cutting Principles, wear and applications of diamond tools in the stone and civil engineering industry", *Proceedings of Diamond tools Conference*, pp. 151–157

Aslantaş, K., Özbek O., Ucun, İ., Büyüksağiş, İ.S. (2009). İnvestigation of the effect of aixol cutting force on circular diamond sawblade used marble projesses, *Materials and Manufacturing Processes,* **24**(12): 1423-1430.

Bayram, F., Yasitli, N. E., Kulaksiz, S., & Ozcelik, Y. (2012). Optimization of limestone sawing using circular saws with reference to unit wear and energy. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 0954406212451067.

Bayram, F. (2013). Prediction of sawing performance based on index properties of rocks. *Arabian Journal of Geosciences*, **6**(11), 4357-4362.

Büyüksağiş, İ.S., Atıcı, Ü., Adem, E. (2003). Travertenlerde tabaka yönünün kesme verimi üzerine etkileri. IV. Mermer Sempozyumu, 18-19 Aralık, 189-199.

Brach K, Pai DM, Ratterman E, Shaw MC (1988) Grinding forces and energy. *Transactions of the ASME: Journal of Engineering for Industry* 110:25–31

Cevindik, M. (2009). Üç eksenli CNC ile mermer işlemede elektrik enerji tüketimine etki eden parametreler. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.

Ersoy, A., Atıcı, U. (2004). Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks. *Diamond and Related Materials,* 13: 22-37.

Ersoy, A., Atıcı, U. (2005). Specific energy prediction for circular diamond saw in cutting different types of rocks using multivariable linear regression analysis. *Journal of Mining Science*, **41**(3): 240-260.

Han, Q.L., Li, Y. and Xu, X.P. (2007). A comparativestudy of stone sawing with thin and normal blades. *Key Engineering Materials,* 329: 687-692.

Hu, S., Wang, C., Chen, B. and Hu, Y. (2006). Dry-cutting concrete study of diamond saw blade with different segment width. *Materials Science Forum,* 532-533: 321-324.

Hwang, T.W., Malkin, S. (1999) Upper bound analysis for specific energy in grinding of ceramics, *Wear,* **231** 161–171.

Jerro HD, Pamg SS, Yang C, Mirshams RA (1999) Kinematics analysis of the chipping process using the circular diamond saw blade. *Transactions of ASME: Journal of Manufacturing Science and Engineering* 121:257–264.

Karakurt, I., Aydin, G., & Aydiner, K. (2013). Experimental and statistical analysis of cutting force acting on diamond sawblade in sawing of granitic rocks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, **227**(2), 286-300.

Polini, W. and Turchetta S. (2004). Force and specific energy in stone cutting by diamond mill. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **44**: 1189-1196.

Sarıışık, G., Oyman, E. (2009). Mermer atıklarının değerlendirilmesinde bilgisayar kontrollü doğal taş işleme makinaları (CNC) kullanımı ile yeni ürün geliştirme, mermer artıklarının değerlendirilmesi ve çevresel etkilerinin azaltılması. I. Mermer Artıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu, Diyarbakır, 16-17 Ekim.

Sarıışık G ve Özkan E, (2015). Bilgisayar kontrollü makineler (CNC) ile doğal taş artıklarının islenmesi ve modellenmesi. 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 3-4 Mart.

Tönshoff, H. K., Hillmann-Apmann, H. and Asche, J. (2002). Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and applications. *Diamond and Related Materials*, **11**: 736-741.

Turchetta, S. (2009). Cutting force on a diamond grit in stone machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* **44**(9-10), 854-861.

Turchetta, S. (2012). Cutting force and diamond tool wear in stone machining, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **61**: 441–448.

Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyükağiş, İ.S., Taşgetiren, S. (2011). An investigation of the effect of diamond concertration and matrix material couposition in the circular sowing process of granites, proc*. IMECHE Portc: Journal of Mechanical Sience* , **225**: 17-27.

Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyükağiş, İ.S., Taşgetiren, S. (2012). Micromechanical modelling of diamond

debonding in couposite segments, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, **50** (2): 609-626.

Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyükağiş, İ.S., Taşgetiren, S. (2013).Effect of cooling liguids on cutting process using diamond segmented disc of naturel stones. *J. of Proc IMECHE Portc: Mechanical Engineering Science* **227**(10): 2315-2327.

Yilmazkaya, E., & Ozcelik, Y. (2015). The Effects of Operational Parameters on a Mono-wire Cutting System: Efficiency in Marble Processing. *Rock Mechanics and Rock Engineering,* 1-17.

Yurdakul, M., & Akdas, H. (2012). Prediction of specific cutting energy for large diameter circular saws during natural stone cutting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,* **53,** 38-44.

Yu, Y.Q., Zhang, Y.F., Li, Y. and Xu, X.P. (2006). Sawing of granite with side-slotted diamond segments. *Key Engineering Materials,* 315-316: 103-107.

Xu, X., Li, Y. and Yu, Y. (2003). Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade. *Journal of Materials Processing Technology,* 139: 281-285.

Wang, C.Y., Hu, Y.N. and Ding, H.N. (2004). Cuttingforces in sawing process of reinforced concrete. *Materials Science Forum,* 471-472: 292-297.