

AKÜ FEMÜBİD 15(2015) 035902 (6-16)
DOI: 10.5578/fmbd.10586

AKU J. Sci. Eng.15 (2015) 035902 (6-16)

Araştırma Makalesi / Research Article

Elmas Kesici Diskler ile Doğal Taşların Kesilmesi İşleminde Optimum Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Belirlenmesi

İsmail UCUN¹, Barış GÖKÇE², M. Said EKEN³, Kubilay ASLANTAŞ⁴, İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ⁵, Süleyman TAŞGETİREN⁶

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

³Cumhuriyet Üniversitesi, Hafik Kamer Örnek Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri, Sivas.

⁴Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

⁵Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

⁶Bursa Orhangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa.

iucun@aku.edu.tr, bgokce@aku.edu.tr, msaideken@cumhuriyet.edu.tr, aslantas@aku.edu.tr, sbsagis@aku.edu.tr, tasgetir@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:15.01.2015; Kabul Tarihi:23.11.2015

Özet

Doğal taşların kesilmesi işleminde elmas kesici diskler değişik kuvvetlere maruz kalmaktadır. Kesici disk bu kuvvetlerin etkisinde zorlanmakta ve istemeyen hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarlar uygun kesme parametrelerinin seçilmesi ile önemli ölçüde azalmaktadır. Kesme işleminde çok sayıda değişken olduğu için uygun parametrenin seçilmesi bazen mümkün olmamaktadır. Bu yüzden çok sayıda deney yapılması gerekir. Bu çalışmada, doğal taşların kesilmesinde kullanılan elmas kesici disklerin optimum kesme parametreleri Taguchi yöntemi ile belirlenmiştir. İlk olarak, farklı doğal taş ve kesme parametrelerinde deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneylerde güç tüketimi, gürültü, spesifik enerji ve kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen bu değerlerin varyans analizleri (ANOVA) yapılmış ve tablolar oluşturulmuştur. Yapılan analizler ile optimum parametreler belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, genel olarak en etkin parametre kesme derinliği olarak tespit edilmiştir. Doğal taş türünün, kesme kuvvetleri, güç tüketimi ve spesifik enerji üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Elmas kesici disk;
Taguchi yöntemi;
Kesme kuvvetleri;
Spesifik enerji;Güç tüketimi.

Determination of Optimum Cutting Parameters in Sawing Process Using Diamond Cutting Disc by Taguchi Method

Abstract

Diamond cutting discs have been exposed to various forces in cutting process of natural stones. The disc is forced in effect of these forces and undesired failures occur. These failures are dramatically declined with selection of suitable parameters. Sometimes, the selection is impossible for having a lot of variable in the cutting process. Therefore, many experiments must be performed. In this study, optimum cutting parameters of diamond cutting disc used sawability of natural stones have been determined by using Taguchi method. Firstly, experiments were carried out different natural stones and cutting parameters. Power consumption, noise, specific energy and cutting forces were determined in the experiments. Variance analyses (ANOVA) of the variables obtained by using the experiments were performed and tables were prepared. Optimum parameters were determined using the analysis. In the results, the most effective parameters were determined as depth of cut. It was showed that having an important effect on cutting forces, power consumption and specific energy of natural stone type.

Keywords

Diamond cutting disc;Taguchi method;Cutting forces;Specific energy;Power consumption.

1. Giriş

Ülkelerin gelişmesi ve kalkınması endüstriyel hammadde ve maden kaynaklarının verimli işletilmesi ile mümkündür. Eski çağlardan beri doğal taşlar, önemli bir yapı ve süsleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Doğal taşlar sağlam olması, cazip renk ve desenler sunması, kullanışlı olması gibi nedenlerden dolayı endüstrinin değişik alanlarında kullanılmaktadır. Doğal taşları kullanılabilir hale getirmek için bazı aşamalardan geçirmek gerekir. Blok kesme, baş kesme, parlatma, katrak, ST, monolama gibi makineler bu aşamalarda kullanılmaktadır. Bu makineler içerisinde ST ve blok kesme makineleri endüstride daha fazla tercih edilmektedir. Bu makineler üzerine değişik çaplarda elmas kesici diskler bağlanmaktadır. Kesici diskler özel alaşımlı çeliklerden imal edilmektedir. Kesici diskler, disk gövdesi ve elmas soketler olmak üzere iki parçadan meydana gelmektedir. Elmas soketler asıl kesme işlemini sağlayan takımlardır ve kesme performansını belirleyen önemli faktörlerden birisidir. Bunlarla birlikte, kesilen doğal taşın minerolojik ve fiziko mekanik özellikleri ve kesme parametreleri kesme performansını etkileyen diğer önemli faktörlerdir [Ersoy, A. vd. 1999, Tönshoff, H. vd. 2002, Uçun, İ. vd. 2008, Taşgetiren, S. vd., 2004, Yalçın, B., vd. 2007].

Elmas kesici diskler ile ilgili önemli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda kesme kuvvetleri [Ersoy, A. vd. 2004, Xu, X. vd. 2005], aşınma [Polini, W. vd. 2003, Xu, X., 2001, Uçun, İ., vd. 2009, Uçun, İ. vd. 2011, Büyüksağış, İ.S. vd. 2005], spesifik enerji [Ersoy, A. vd. 2005, Gertsch, R., vd. 2007, Uçun, İ., vd. 2012] gibi kesme performansını belirleyen değerler elde edilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesinde genellikle deneysel yöntemler kullanılmaktadır. Deneysel yöntemler ile birlikte bazı analitik metotlarda tercih edilmektedir. Eyüboğlu vd. (2004) yaptıkları çalışmada doğal taşın elmas kesici disk ile kesilmesinde soket aşınmasını istatistiksel ve mikroskobik olarak incelemişlerdir. Deneysel olarak ölçülen aşınma oranları istatistiksel bir yaklaşımla karşılaştırılmış ve birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Di Ilio ve Tonga (2003) doğal taş kesme işleminde kullanılan elmas soketler ile ilgili yeni bir analitik aşınma modeli önermişlerdir. Bu model ile deneylerin optimum bir şekilde planlanması sağlanmıştır. Kahraman vd. (2004) büyük çaplı elmas kesici diskler ile farklı özelliklere sahip doğal taşların kesilebilirliğini çoklu regrasyon analizleri kullanarak tahmin etmeye

çalışmışlardır. Analizler ile doğal taşların kesilebilirliğine en etkin parametreler disk çapı, kesme hızı, kesme derinliği, çekme ve darbe mukavemeti olduğu görülmüştür. Fener vd. (2007) ise elmas kesici disk performansını karbonat doğal taşların bazı özelliklerini basit ve çoklu regrasyon analizleri kullanılarak değerlendirmişlerdir. Büyüksağış ve Göktan (2007) çoklu lineer regrasyon oranları ile aşınma ve spesifik enerjilerin belirlenmesinde doğal taşın minerolojik ve fiziko-mekanik özelliklerini incelemiştir. Spesifik enerjinin artması ile spesifik aşınma oranı lineer bir şekilde artmıştır.

Bu çalışmada ise, farklı doğal taşların (Blue Pearl ve Çankırı kahverengi) elmas kesici diskler ile kesme işleminde optimum kesme parametreleri Taguchi yöntemi ile belirlenmiştir. Deneylerde kesme kuvvetleri, gürültü, güç tüketimi ve spesifik enerji değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler matematiksel ve istatistiksel analiz yapılarak varyans analizi (ANOVA) ile incelenmiştir.

2. Taguchi Yöntemi

2.1. Parametrelerin belirlenmesi

Doğal taşların elmas kesici diskler ile yapılan kesme deneylerinde kesme kuvvetleri (F_t , F_n , F_z), gürültü, güç tüketimi ve spesifik enerji değerleri tespit edilmiştir. Kesme sırasında kullanılacak dört adet parametre (Doğal taşlar, çevresel hız, kesme hızı, kesme derinliği) ve bu parametrelere ait seviyeler belirlenmiştir. Doğal taşlar ile ilgili parametre için iki seviye, diğer parametreler için ise üç seviye tespit edilmiştir. Bu parametreler ve seviyelerin oluşturduğu tam faktöriyel deney sayısı $3^3 \times 2 = 54$ adet ve her bir deneyden en az üçer defa tekrarlandığından 162 adet deney yapılması gerekmektedir. Bu deneylerin yapılması için harcanan zaman ve malzeme maliyetleri göz önüne alındığında Taguchi'nin geliştirdiği deney tasarımına göre 18 adet deney ve her bir deneyden en az üçer defa tekrardan dolayı 54 adet deney beklenen sonucu bulmaya yeterlidir.

2.2. Sonuçların değerlendirilmesi

S/N oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranı olarak tanımlanır. Sinyal değeri

sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder. Bunun yanında, gürültü faktörleri ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmasına neden olan değişkenlerdir. Dolayısıyla, gürültünün sisteme etkisini minimize etmek gerekmektedir. S/N oranının hesaplanmasında bazı kabuller kullanılmaktadır. Çok sayıda kabul olmasına karşın bu kabullerden en çok kullanılanları; en küçük en iyi, nominal en iyi, en büyük en iyi kabulleridir. Bu üç tip kabulde amaç, S/N oranını maksimize etmektir. S/N oranının maksimize edilmesi, sinyalin artırılması ve gürültünün azaltılmasıyla sağlanmaktadır. Böylece S/N oranı artırılabilir [Kasman, Ş., 2009.]. Kesme işlemine en uygun ve en küçük en iyi S/N;

$$S/N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

şeklindedir. Deneyler sonucunda elde edilen S/N değerleri hakkında yorum yapmak için bu değerlerin standart sapmaları, aritmetik ortalamaları, serbestlik derecelerinin hesaplanması gibi matematiksel ve istatistiksel işlemler yapılarak Varyans Analizi (ANOVA) tablosu oluşturulmaktadır. Varyans analizi yapıldıktan sonra daha önce yapılan deney şartları ile aynı olacak şekilde ve seçilen parametrelerin öngörülen en iyi seviye değerleri ile uygulanacak bir test deneyi daha yapılması deneylerin tutarlılığının kontrolü için gerekmektedir [Sakarya, N., vd. 2006, Gökçe, B. vd. 2009, Selvaraj, D.P. vd. 2014, Murthya, M. vd. 2014, Rawat, U. vd. 2014].

3. Materyal ve Metot

3.1. Deneysel yöntem

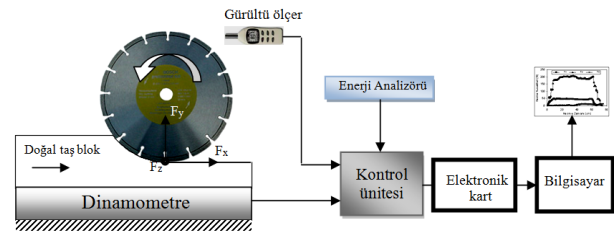
Kesme deneylerinde kullanılan blok kesme makinesinin görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Testere, mile bağlı olan 5.5kW'lık bir AC motordan hareket almaktadır. Kesme esnasında güç tüketimini belirlemek için SHARK 100 marka enerji analizörü kullanılmıştır. X, Y ve Z yönlerinde kesme kuvvetleri üç yönlü bir dinamometre (ESİT) ile belirlenmiştir. Kesme boyunca kesici diskin oluşturduğu gürültüyü ölçmek için bir gürültü ölçer kullanılmıştır. Makine üzerine bağlı olan bu cihazlar bir kontrol ünitesi tarafından elektronik karta

iletilmektedir. Bilgisayar, elektronik karta aktarılan bilgileri görüntülemektedir. Makine içerisindeki bütün hareketler bilgisayar kumandası ile sağlanmaktadır. Tablanın ileri-geri hareketi, kesici disk başlığının öne-arkaya ve aşağı-yukarı hareketleri de 0,75 kW lık AC motorlar ile yapılmaktadır. Çalışanın ve makinenin güvenliği için tabla ve testere başlığına algılayıcı sınır anahtarları (endüktif sensör) yerleştirilmiştir [Ucun, İ., 2009]. Dairesel testerenin doğal taşları kesiminde dairesel testereyi soğutmak için su kullanılmıştır. Bilgisayar kontrollü blok kesme makinesinin şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Blok kesme makinesinin görünümü [Ucun, İ., 2009].

Deneylerde kullanılan testerenin çapı 400 mm, testere genişliği 2,5 mm ve elmas soket genişliği ise 3,5 mm dir. Deneylerde kullanılan elmas soketin matris özellikleri % 95 W-Co, % 5 Cu/Sn-Fe dir. Elmas konsantrasyonu 20, elmas boyutu 40-50 mesh ve elmas kalitesi SDA +85-100 dür. Testerenin etrafında 28 elmas soket bulunmaktadır.

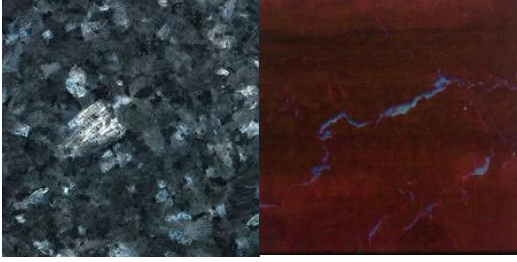


Şekil 2. Blok kesme makinesinin şematik görünümü.

3.2. Deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri

Kesme deneylerinde belirli boyutlarda (yükseklikte 70 mm, genişlik 110 mm ve boy 500 mm) Blue Pearl ve Çankırı Kahverengi doğal taşları kullanılmıştır. Blue Pearl ve Çankırı Kahverengi

doğal taşların görünüşleri Şekil 3'de verilmiştir. Deneysel olarak kullanılan doğal taşların fiziko-mekanik verileri Tablo 1'de verilmiştir.



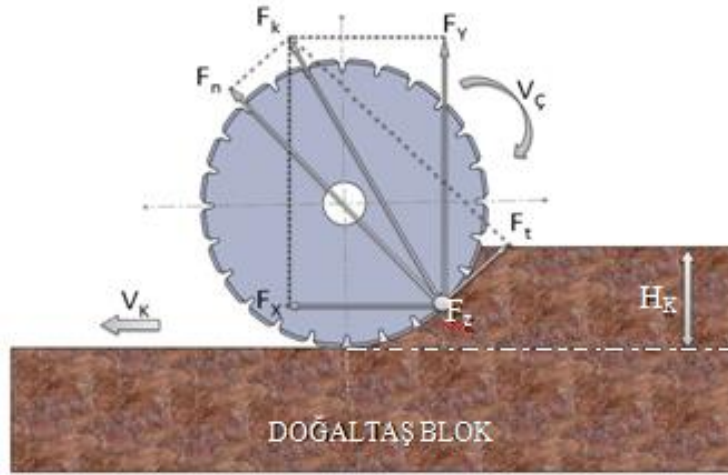
a) b)
Şekil 3. Doğal taşların görünüşleri a) Blue Pearl, b) Çankırı Kahverengi [Uçun, İ., 2009, Özbek, O., 2008].

Tablo 1. Blue Pearl ve Çankırı kahverengi mermerin fiziko-mekanik özellikleri.

	Blue Pearl	Çankırı Kahverengi
Sertlik (Mohs)	6-7	3-4
Porozite (%)	0.47	0,1
Yoğunluk (g/cm ³)	2.59	2,71
Basma Dayanımı (MPa)	150.4	64.36
Schmidt Sertlik İndeksi	71.70	68,7

3.2. Analitik Yaklaşım

Doğal taş kesme işleminde malzeme özellikleri elmas kesici diskin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Homojen olmayan doğal taşlar kesici diskleri farklı şekillerde zorlayabilmektedir. Zorlamayla birlikte disk üzerine değişik kuvvetler etki etmektedir. Bir elmas kesici disk üzerine etki eden kuvvetler Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kesme işleminde kesici disk üzerine etki eden kuvvetler.

Kesme kuvvetleri deneysel olarak üç boyutlu dinamometre ile belirlenmektedir. Bu kuvvetler göz önüne alınarak normal (F_n), kesme (F_k) ve teğetsel (F_t) kuvvetleri matematiksel olarak hesaplanır. Elde edilen bileşke kuvvetlerine bağlı olarak kesme kuvveti [Uçun, İ., vd.2011,Asche, J., 2000],

$$F_k^2 = F_x^2 + F_y^2 \quad (2)$$

şeklindedir. Burada, F_x ve F_y kuvvetleri x ve y yönündeki tepkisel kuvvetlerdir. Kesici disk üzerine gelen teğetsel kuvvet ise güç ve çevresel hıza bağlı olarak [Uçun, İ., vd.2011, Asche, J., 2000],

$$F_t = \frac{P}{V_c} \quad (3)$$

hesaplanır. Burada, P (W) güç ve V_c (m/s) çevresel hızdır. Normal kuvvetler ise, kesme ve teğetsel kuvvetlere bağlı olarak [Uçun, İ., vd.2011, Asche, J., 2000],

$$F_n^2 = F_k^2 - F_t^2 \quad (4)$$

ifade edilir. Doğal taş endüstrisinde kesme verimliliğinin en önemli kriterlerden bir tanesi de spesifik enerji (SE) kavramıdır. Spesifik enerji (SE), doğal taşın birim zamanda birim hacmini kesmesi için gerekli enerji miktarını ifade etmektedir. Özellikle bu sektörde, birim zamanda yüksek üretim miktarlarının düşük enerji tüketimiyle gerçekleştirilmek istenmesi spesifik enerjiyi önemli

kılmaktadır. SE enerjinin hesaplanmasında değişik yöntemler kullanılsa da, genellikle birim zamanda kesilen doğal taş hacmine, güce veya teğetsel kuvvete bağlı olarak hesaplanmaktadır. Buna göre spesifik enerji [Uçun, İ., vd.2011, Asche, J., 2000],

$$SE = \frac{P * t}{Q_w} \quad (5)$$

Burada t (s) kesme zamanı ve Q_w (cm^2/min) ise kesilen kayacın hacmini ifade etmektedir. Denklemden görüldüğü gibi birim zamanda kesilen hacmin artması SE'nin azalmasına neden olmaktadır.

4. Deneysel Yöntem

Tablo 2.Kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Faktör					
No	Semboller	Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
1	A	Doğal Taşlar	Blue Pearl	Çankırı Kahverengi	-
2	B	Çevresel Hız (m/s)	30	35	40
3	C	Kesme Hızı (m/min)	0,4	0,5	0,6
4	D	Kesme Derinliği (mm)	20	30	45

Kesici disklerin kesme performanslarının belirlenmesinde doğal taş türü, çevresel hız, kesme hızı ve kesme derinliği gibi parametreler dikkate alınmıştır. Böylece analiz için parametre sayısı dört ve seviye sayısı üç olduğu için standart L3-18 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir. Parametrelerden biri olan doğal taş türü iki seviyeye sahip olduğu için birinci sıraya yerleştirilmiştir. Çevresel hız, kesme hızı ve kesme derinliğini oluşturan diğer parametreler rastgele sıralanmıştır. Taguchi yönteminin L3-18 ortogonal dizisine göre parametreler yerleştirildikten sonra Tablo 3'de verilen deney reçetesi oluşturulmuştur.

Tablo 3.Taguchi L3-18 deney reçetesi.

PARAMETRELER VE SEVİYELERİ				
	A:	B:	C:	D:
Deney No	Doğal Taşlar	Çevresel Hız	Kesme Hızı	Kesme Derinliği
1	Blue Pearl	30	0,4	20
2	Blue Pearl	30	0,5	30
3	Blue Pearl	30	0,6	45
4	Blue Pearl	35	0,4	20
5	Blue Pearl	35	0,5	30
6	Blue Pearl	35	0,6	45
7	Blue Pearl	40	0,4	30
8	Blue Pearl	40	0,5	45
9	Blue Pearl	40	0,6	20

10	Çankırı Kahverengi	30	0,4	45
11	Çankırı Kahverengi	30	0,5	20
12	Çankırı Kahverengi	30	0,6	30
13	Çankırı Kahverengi	35	0,4	30
14	Çankırı Kahverengi	35	0,5	45
15	Çankırı Kahverengi	35	0,6	20
16	Çankırı Kahverengi	40	0,4	45
17	Çankırı Kahverengi	40	0,5	20
18	Çankırı Kahverengi	40	0,6	30

Tablo 3’de verilen deney reçetesine göre yapılan kesme deneylerinin sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Kesme deneylerinde güç tüketimi (P), gürültü, spesifik enerji (SE), teğetsel kuvveti (F_t), normal

kuvvet (F_n) ve yanal kuvvet (F_z) elde edilmiştir. Her bir deney üç defa tekrar edilmiş ve ortalamaları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Deney reçetesine göre deney sonuçlarının ortalama ve S/N değerleri

Deney No	Güç (W)		Gürültü (dB)		Spe.Enerji (J/mm ³)		F_t (N)		F_n (N)		F_z (N)	
	Ort.	S/N	Ort.	S/N	Ort.	S/N	Ort.	S/N	Ort.	S/N	Ort.	S/N
1	2927	-69,33	104,5	-40,38	6,627	41,06	-32,22	-16,43	97,55	-39,78	306,9	-49,74
2	3927	-71,88	106,6	-40,55	5,322	72,19	-37,17	-14,52	130,9	-42,34	503,7	-54,04
3	5135	-74,21	105,3	-40,45	4,409	83,83	-38,46	-12,89	171,2	-44,67	604,8	-55,63
4	3146	-69,95	105,6	-40,47	6,941	44,27	-32,92	-16,83	89,89	-39,07	243,1	-47,70
5	4367	-72,80	105,2	-40,44	5,911	45,46	-33,12	-15,43	124,8	-41,92	428,4	-52,63
6	5920	-75,45	106,3	-40,53	5,170	70,24	-36,93	-14,27	169,2	-44,57	598,7	-55,54
7	4473	-73,01	105,5	-40,47	7,348	39,93	-31,65	-17,32	111,8	-40,97	356,9	-51,02
8	5409	-74,66	106,9	-40,58	5,644	54,69	-34,75	-15,03	135,2	-42,62	484,7	-53,71
9	4174	-72,41	107,4	-40,62	6,322	37,43	-31,45	-16,01	104,4	-40,37	327,6	-50,30
10	3315	-70,41	104,8	-40,41	2,865	17,12	-24,56	-9,142	110,5	-40,87	288,2	-49,19
11	2257	-67,07	105,6	-40,47	3,855	13,94	-22,72	-11,72	75,23	-37,53	147,2	-43,35
12	3354	-70,50	106,1	-40,52	2,949	20,22	-25,87	-9,384	111,8	-40,96	340,1	-50,63
13	2985	-69,49	99,70	-39,97	3,581	4,810	-11,17	-11,07	85,29	-38,61	221,8	-46,89
14	3912	-71,85	100,6	-40,05	2,794	8,840	-18,92	-8,924	111,8	-40,97	348,5	-50,84
15	2807	-68,97	100,0	-40,00	4,174	9,850	-19,49	-12,41	80,21	-38,08	191,8	-45,65
16	3844	-71,69	106,2	-40,52	3,218	10,21	-19,16	-10,15	96,09	-39,65	266,0	-48,49
17	2548	-68,12	107,6	-40,63	4,590	11,70	-21,25	-13,24	63,70	-36,08	114,9	-41,18
18	4095	-72,24	108,2	-40,68	3,505	13,22	-22,42	-10,89	102,4	-40,20	303,6	-49,65

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kesici diskin güç tüketimi ile yapılan varyans analiz sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. Buna göre parametrelerin güven aralığı değerleri (F) % 99 güvenilir düzeydedir. Parametrelerin etki oranlarının toplamı % 99,02'dir. Bu değerlere göre en düşük güç tüketimi için kesme derinliği % 48,07'lik etki oranı ile deneye en çok etkisi olan parametredir ve en düşük güç tüketimini sağlayan seviyesi 1 (20 mm) dir. Buradan şu sonuca varılabilir, kesme derinliği arttıkça güç tüketiminin deneye olan etkisi artmaktadır. En düşük güç tüketimi için doğal taşın deneye etkisi % 34,01 olduğu görülmektedir. En düşük güç tüketimini sağlayan seviyesi 2 yani sertliği daha az olan Çankırı Kahverengi doğal taşıdır. Kesme hızının deneye etkisi % 9,82 ve en düşük güç tüketimi için en etkin seviyenin de 1 (0,4 m/min) olduğu görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla güç tüketimi parametresinin etkisi oranında artmaktadır. Deneye en düşük etkisi olan parametrenin ise % 7,12 ile çevresel hızdır. Çevresel hızında etkin seviyesi 1 (30 m/s) olarak elde edilmiştir.

Tablo 5. Güç S/N oranına göre varyans (ANOVA) analizi.

Seviyeler	Doğal Taşlar (A)	Çevresel Hız (B)	Kesme Hızı (C)	Kesme Derinliği (D)
P (Güç) (S/N) ANOVA ANALİZİ				
Seviye 1	-653,71	-423,41	-423,90	-415,86
Seviye2	-630,37	-428,52	-426,39	-429,96
Seviye3	0,00	-432,15	-433,80	-438,27
Maks.-Min.	-23,34	-8,74	-9,89	-22,42
Varyansı	30,26	3,21	4,41	21,40
F Değeri	589,82	62,59	86,01	417,15
Etki Oranı (%)	34,01	7,12	9,82	48,07
Etkin Sıra	2	4	3	1
Etkin Seviye	2	1	1	1

Tablo 6'da doğal taşların kesilmesinde ortaya çıkan gürültü S/N oranına göre varyans analiz değerleri verilmiştir. Buna göre kesme derinliği hariç diğer parametrelerin güven aralığı değerleri (F) % 95 güvenilir düzeydedir. Parametrelerin etki

oranlarının da toplamı % 61,72'dir. Kesme derinliği parametresi ölçüm sonuçlarına göre hatalı çıkmıştır. Gürültü ölçümü sırasında kontrol edilemeyen değişik faktörler olduğu söylenebilir. Kontrol edilemeyen parametreler su, elmas soket ile doğal taş arasındaki sürtünme, motor, heterojen olan soket ve doğal taşlardır. Bu parametreler gürültünün belirlenmesinde etkin rol oynamıştır. En düşük gürültü için çevresel hız % 46,66 'lık etki oranı ile gürültünün oluşumuna en çok etkisi olan parametredir ve en düşük gürültüyü sağlayan seviyesi 2 (35 m/s)'dir. En düşük seviye ile en yüksek seviye arasındaki farkın 2,03 olduğuna göre seviye farklılıklarının çok büyük etkisi görülmemiştir. En düşük gürültü için doğal taşın deneye etkisi % 11,09 olarak elde edilmiştir. En düşük gürültüyü sağlayan seviye 2 olan Çankırı Kahverengi doğal taşıdır. Kesme hızının gürültüye olan etkisi % 3,98 ve en düşük gürültü oluşumu için en etkin seviyesi 1 (0,4 m/min)'dir. Burada kesme hızı seviye farklılıkların çok fazla bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Kesme hızının artmasıyla güç tüketimi ve buna bağlı olarak kesme kuvvetleri de artmaktadır. Kesme hızının artmasıyla elmas soket birim zamanda keseceği miktar arttığından, daha fazla güç tüketmektedir.

Tablo 6. Gürültü S/N oranına göre varyans (ANOVA) analizi.

Seviyeler	Doğal Taşlar (A)	Çevresel Hız (B)	Kesme Hızı (C)	Kesme Derinliği (D)
GÜRÜLTÜ S/N ANOVA ANALİZİ				
Seviye 1	-364,50	-242,78	-242,22	-242,58
Seviye2	-363,26	-241,47	-242,73	-242,63
Seviye3	0,00	-243,50	-242,80	-242,54
Maks.-Min.	-1,24	-2,03	-0,59	-0,09
Varyansı	0,085	0,177	0,017	0,00034
F Değeri	40,94	85,05	8,16	0,16
Etki Oranı (%)	11,09	46,66	3,98	-0,46
Etkin Sıra	2	1	3	4
Etkin Seviye	2	2	1	3

Spesifik enerji; birim hacimdeki bir doğal taşı kesmek için gerekli olan enerji miktarıdır. Spesifik enerjinin düşmesi daha verimli bir kesmenin

oluşturduğunu göstermektedir. Tablo 7’de doğal taşların kesilmesinde kullanılan spesifik enerjinin S/N oranına göre varyans analizi verilmiştir. Bu analizlere göre, kesme hızı hariç diğer parametrelerin güven aralığı değerleri (F) % 95 güvenilir düzeyinin üzerindedir. Parametrelerin etki oranlarının da toplamı % 95,45’dir. Kesme hızı parametresinin deneye olan etkisinin çok düşük olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre en düşük spesifik enerji için doğal taşın deneye etkisi % 73,89 olarak belirlenmiştir. Spesifik enerjiye etkisi olan en önemli faktörün doğal taş olduğu görülmektedir. Burada en etkin seviyenin de 2 olan Çankırı Kahverengidir. En düşük spesifik enerji için kesme derinliği % 16,26 ’lık etki oranı ile en çok etkisi olan ikinci parametredir. En düşük spesifik enerji için etkin seviye 3 (45 mm)’dür. En düşük spesifik enerji için çevresel hız % 4,17 ’lik etki oranı ile spesifik enerjiye en az etkisi olan parametrelerden biridir. En düşük spesifik enerji için etkin seviye 1 (30 m/s)’dir.

Tablo 7. Spesifik Enerji S/N oranına göre varyans (ANOVA) analizi

Seviyeler	Doğal Taşlar (A)	Çevresel Hız (B)	Kesme Hızı (C)	Kesme Derinliği (D)
SPESİFİK ENERJİ ANOVA ANALİZİ				
Seviye ₁	-138,74	-74,10	-80,96	-86,64
Seviye ₂	-96,96	-78,95	-78,87	-78,65
Seviye ₃	0,00	-82,66	-75,88	-70,41
Maks.-Min.	-41,78	-8,56	-5,08	-16,23
Varyansı	96,98	3,07	1,09	10,98
F Değeri	278,71	8,83	3,12	31,56
Etki Oranı (%)	73,89	4,17	1,13	16,26
Etkin Sıra	1	3	4	2
Etkin Seviye	2	1	3	3

Teğetsel (F_t) ve normal (F_n) kuvvetlerin varyans analizleri Tablo 8’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, F_t ve F_n kuvvetlerinin aynı etkin parametrelere ve her bir parametre aynı seviyeye sahiptir. Teğetsel kuvvet, kesici diskin ilerleme doğrultusunda elde edilen kuvvettir. Normal kuvvet ise, daha çok kesme derinliğine bağlıdır. Kesme hızı

ve kesme derinliğinin artmasıyla teğetsel ve normal kuvvetler artmaktadır. Ayrıca, etki oranlarının da birbirine yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. Kesme derinliğinin teğetsel kuvvete (F_t) % 49,85 normal kuvvete (F_n) ise % 43,32 ile en fazla etkisi olan parametre olduğu görülmüştür. Kesme derinliğinin artmasıyla elmas soket daha fazla hacimde talaş kaldırmakta ve böylece kuvvetler artmaktadır. Bu parametrenin etkin seviyenin de en düşük kesme derinliği olan 1 seviyesinin (20 mm) olduğu gözlemlenmiştir. Kesme derinliği arttıkça teğetsel kuvvet ve normal kuvvet orantılı olarak artmaktadır. En düşük ile en yüksek seviyeler arasındaki fark yüzde 10’dur. Doğal taşın teğetsel kuvvete (F_t) % 35,26 ve normal kuvvete (F_n) % 41,98 lik etki oranı ile en fazla etkisi olan parametre olduğu görülmüştür. Bu parametrenin etkin seviyesinin de en düşük kesme derinliği olan 2 seviyesinin (Çankırı Kahverengi) olduğu belirlenmiştir. Doğal taş türü değiştikçe teğetsel kuvvet ve normal kuvvet orantılı olarak değişmektedir. Doğal taş seviyeleri arasındaki fark ortalama % 10’dur, yani seviyelerin etkisi fazladır. Kesme hızının teğetsel kuvvete % 10,19 normal kuvvete ise % 6,71 lik etkisi olduğu görülmüştür. Çevresel hızının, teğetsel kuvvete % 3,70, normal kuvvete ise % 1,46 ile deneye en düşük etkisi olan parametre olduğu görülmüştür.

Tablo 8. F_t ve F_n kuvvetlerinin S/N oranına göre varyans (ANOVA) analizi

Seviyeler	Doğal Taşlar (A)	Çevresel Hız (B)	Kesme Hızı (C)	Kesme Derinliği (D)
F_t (S/N) ANOVA ANALİZİ				
Seviye 1	-376,3	-246,1	-238,9	-230,9
Seviye 2	-352,9	-243,2	-241,4	-245,03
Seviye 3	0,00	-239,90	-248,87	-253,34
Maks.-Min.	23,34	6,26	9,89	22,42
Varyansı	30,262	1,632	4,413	21,403
F Değeri	630,235	33,998	91,906	445,733
Etki Oranı (%)	35,26	3,70	10,19	49,85
Etkin Sıra	2	4	3	1
Etkin Seviye	2	3	1	1

F _n (S/N) ANOVA ANALİZİ				
Seviye 1	-470,4	-302,6	-293,1	-278,005
Seviye 2	-425,97	-299,33	-295,81	-304,95
Seviye 3	0,00	-294,44	-307,42	-313,42
Maks.-Min.	44,42	8,16	14,28	35,42
Varyansı	109,633	2,810	9,606	57,004
F Değeri	120,618	3,092	10,568	62,715
Etki Oranı (%)	41,98	1,46	6,71	43,32
Etkin Sıra	2	4	3	1
Etkin Seviye	2	3	1	1

F_z kesici diskin yan yüzeylerine etki eden bir kuvettir. Kesici disk doğal taşı düzenli bir şekilde kesmesi için F_z kuvveti önemlidir. Tablo 9'de F_z kuvvetinin S/N oranına göre varyans analiz sonuçları verilmiştir. Yanal kuvvetin (F_z) belirlenmesinde doğal taşın sertliği ve tane boyutu önemli bir etkiye sahiptir. F_z kuvveti % 83,57'lik etki oranı ile doğal taş türünün en fazla etkisi olduğu parametredir. Doğal taş türü değiştikçe F_z kuvveti artmıştır. Çevresel hızın deneye olan etkisinin % 5,35, kesme hızının % 2,19 ve kesme derinliğinin ise % 0,68'dir.

Tablo 9. F_z kuvvetinin S/N oranına göre varyans (ANOVA) analizi

Seviyeler	Doğal Taşlar (A)	Çevresel Hız (B)	Kesme Hızı (C)	Kesme Derinliği (D)
F _z (S/N) ANOVA ANALİZİ				
Seviye ₁	-309,309	-181,754	-157,034	-161,007
Seviye ₂	-191,575	-156,472	-168,366	-165,611
Seviye ₃	0,000	-162,657	-175,484	-174,265
Maks.-Min.	117,73	25,28	18,45	13,26
Varyansı	770,072	28,948	14,430	7,552
F Değeri	174,195	6,548	3,264	1,708
Etki Oranı (%)	83,57	5,35	2,19	0,68
Etkin Sıra	1	2	3	4
Etkin Seviye	2	3	1	1

Doğal taş endüstrisinde minimum enerji maliyeti ile maksimum üretim esastır. Bu açıdan bir kesici diskin birim hacimdeki doğal taşı kesmesi için gerekli olan spesifik enerji önemlidir. Spesifik enerji, kesme kuvvetleri ve güç tüketimine bağlıdır. Elmas soketlerde meydana gelen aşınma ile güç tüketimi ve kesme kuvvetleri artmaktadır. Bu yüzden enerji miktarı da artar. Taguchi deney tasarımına göre elde edilmiş sonuçlardan spesifik enerjinin, güç tüketiminin ve kesme kuvvetlerinin etkin seviyelerine göre yeniden deneyler yapılmıştır.

- En düşük güç tüketimi için en iyi seviyeler; A2 B1 C1 D1,
- En düşük spesifik enerji için en iyi seviyeler; A2 B1 C3 D3,
- En düşük F_t ve F_n kuvvetleri için en iyi seviyeler; A2 B3 C1 D1.

Bu parametre değerlerine göre üçer adet deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablolardaki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. En düşük güç tüketimi (P) için A2 B1 C1 D1 seviye kombinasyonu deney sonucu ortalaması 2048,9 W'dır. En düşük spesifik enerji (SE) için A2 B1 C3 D3 seviye kombinasyonu deney sonucu ortalaması 2,62 J/mm³dür. En düşük tegetsel kuvvet için A2 B3 C1 D1 seviye kombinasyonu deney sonucu ortalaması 4,72 N'dur. En düşük normal kuvvet için A2 B3 C1 D1 seviye kombinasyonu deney sonucu ortalaması 106,73 N'dur. Doğal taşların kesilmesinde kullanılan kesici takımın üzerine gelen kuvvetler, güç tüketimi, spesifik enerji ve gürültüye bağlı değerler doğal taşın türüne ve diğer parametreler göre farklılıklar göstermektedir. Doğal taşlardan Blue Pearl, Çankırı Kahverengi mermerine göre daha fazla kuvvet ve spesifik enerji tüketimine sebep olmaktadır. Bunun sebebi Blue Pearl granit taşının, Çankırı Kahverengi mermerine göre porozitesi (boşluk oranı) az, tane çapının büyük ve sertliğinin yüksek olmasıdır [11,24,25]. Kuvvetlerin yüksek olması güç tüketiminde yükselmesine sebep olmuştur.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı kesme parametreleri ve doğal taşlar kullanılarak yapılan kesme işleminde kesici diskin kesme performansı incelenmiştir. Elde edilen değerler Taguchi yöntemi ile incelenmiş ve optimum parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan analizlerde güç tüketiminin belirlenmesi için en etkin parametrenin kesme derinliği olduğu görülmüştür. Kesme derinliğinin artışı ile güç tüketimi önemli ölçüde artmıştır. Güç tüketiminin belirlenmesinde en az etki çevresel hızdır. Burada, en küçük güç tüketimini sağlayan seviye olarak Çankırı Kahverengi elde edilmiştir. Gürültünün belirlenmesinde en etkin parametre çevresel hız olarak elde edilmiştir. Bazı faktörlerden dolayı kesme derinliği etkin parametre olarak görülmemiştir. Kesme hızının gürültüye daha az etki yaptığı belirlenmiştir. Çevresel ve kesme hızının spesifik enerji üzerindeki etki seviyesi düşüktür. Spesifik enerjinin belirlenmesinde en etkin parametre doğal taş türüdür. Varyans analizlerine göre F_t ve F_n kuvvetlerinin aynı etkin parametrelere sahip olduğu görülmüştür. Kesme derinliğinin artması ile kuvvetler önemli ölçüde artmıştır. Bu yüzden, kesme derinliğinin kuvvetlerin belirlenmesinde en etkin faktör olarak söylenebilir. Kesme derinliğinden sonra doğal taş türü kesme kuvvetleri için ikinci etkin parametredir.

Teşekkür

Bu çalışma, 106M189 TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ersoy, A. ve Atıcı, Ü., 1999. Mermer Kesicilerinin Aşınma Mekanizmaları. *Türkiye 16. Madencilik Kongresi*, 107-115.
- Tönshoff, H. K. and Hillmann-Apmann, H., 2002. Diamond Tools for Wire Sawing Metal Components. *Diamond and Related Materials*, Vol. 11, 742-748.
- Uçun, İ., Aslantaş K., Taşgetiren, Ş. and Büyüksağış, İ.S., 2008. Fracture Path Prediction of Diamond Segment in a Marble Cutting Disc. *Fatigue and Fracture of Eng. Mat.*, Vol. 31, 517-525.

Taşgetiren, S. ve Uçun, İ., 2004. Mermer Kesme Diskinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Doğal Frekansların Belirlenmesi. *Teknolojik Araştırmalar: MTED*, Cilt 1, No 4, 9-17.

Yalçın, B., Uçun, İ. and Koru, M., 2007. Fuzzy Logic Modelling of the Cutting Force of Circular Diamond Saw in Marble Cutting. *J. of the Faculty of Eng. and Arch. of Gazi Uni.*, Vol 22, No 2, 329-336.

Ersoy, A. and Atıcı, U., 2004. Performance Characteristics of Circular Diamond Saws in Cutting Different Types of Rocks. *Diamond and Related Materials*, Vol 13, 22-37.

Xu, X., Li, Y. and Yu, Y., 2005. Force Ratio in the Circular Sawing of Granites With a Diamond Segmented Blade. *J. of Mat. Process. Tech.*, Vol 169, 258-262.

Polini, W. and Turchetta, S., 2003. To Characterise Diamond Mill Wear. *Wear*, 255, 1414-1420.

Xu, X., 2001. Study on the Thermal Wear of Diamond Segmented Tools in Circular Sawing of Granites. *Tribology Letters*, Vol 10, No 4, 245-250.

Uçun, İ., Aslantaş, K. and Büyüksağış, İ.S., 2009. Investigation of the Effect on Disc Performance of Coolant Containing Boron Oil Marble Saving Process. *J. of the Faculty of Eng. and Arch. of Gazi Uni.* Vol 24, No 3, 435-441,

Uçun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ.S. and Taşgetiren, S., 2011. An Investigation on the Effect of Diamond Concentration and Matrix Material Composition in the Circular Sawing Process of Granites. *Proc. of the Inst. of Mech. Eng. Part C-J. of Mech. Eng. Sci.*, Vol. 225, 17-27.

Büyüksağış, İ.S. and Gökten, R.M., 2005. Investigation of Marble Machining Performance Using an Instrumented Block-Cutter. *J. of Mat. Process. Tech.*, Vol 169, 258-262.

Ersoy, A. and Atıcı, U., 2005. Specific Energy Prediction for Circular Diamond Saw in Cutting Different Types of Rocks Using Multivariable Linear Regression Analysis. *J. of Mining Science*, Vol 41, No 3, 240-260,

- Gertsch, R., Gertsch, L. and Rostami, J.,2007. Disc Cutting Tests in Colorado Red Granite: Implications for TBM Performance Prediction. *Int. J. of Rock Mech. & Min. Sciences*, Vol 44, 238-246.
- Uçun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ.S. and Taşgetiren, Ş.,2012.Determination of Specific Energy in Cutting Process Using Diamond Saw Blade of Natural Stone.*Energy Edu. Sci. and Tech. Part A: Energy Sci. and Res.*, Vol 28, No 2, 641-648.
- Eyüboğlu, A.S., Özçelik, Y., Kulaksız, S. and Engin, I.C., 2003.Statistical and Microscopic Investigation of Disc Segment Wear Related to Sawing Ankara Andesites.*Int. J. of Rock Mech. & Mining Sciences*, Vol 40, 405-414,
- Di Ilio, A. and Tonga, A.,2003.A Theoretical Wear Model for Diamond Tools in Stone Cutting, *Int. J. of Mach. Tools & Manuf.*, Vol 43, 1171-1177.
- Kahraman, S., Fener, M. and Günaydın, O., 2004.Predicting the Sawability of Carbonate Rocks Using Multiple Curvilinear Regression Analysis.*Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol 41, 1123-1131.
- Fener, M., Kahraman, S. and Özder, M. O., 2007. Performance Prediction of Circular Diamond Saws from Mechanical Rock Properties in Cutting Carbonate Rocks. *Rock Mech. Rock Engineering*, Vol 40, No 5, 505-517.
- Büyüksağış, İ.S. and Gökten, R.M.,2007.The Effect of Schmidt Hammer Type on Uniaxial Compressive Strength Prediction of Rock.*Int. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol 44, No 2, 299-307.
- Kasman, Ş.,2009.Lazer Mikro İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Deney Tasarım Yöntemiyle Belirlenmesi.5. *Uluslar. İleri Tek. Sem. (IATS'09)*, Karabük, Türkiye.
- Sakarya, N., and Gologlu, C., 2006. Determination of Cutter Path Strategies and Cutting Parameters Effects on Surface Roughness in Pocket Milling by Taguchi Method.*J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, Vol 21, No 4, 603-611,
- Gökçe, B. ve Taşgetiren, S.,2009. Kalite İçin Deney Tasarımı.*Teknolojik Araştırmalar:MTED*, Cilt 6, No 1, 71-83.
- Selvaraj, D.P., Chandramohan P. and Mohanraj M., 2014. Optimization of Surface Roughness, Cutting Force and Tool Wear of Nitrogen Alloyed Duplex Stainless Steel in a Dry Turning Process Using Taguchi Method, *Measurement*, Vol 49, 205-215.
- Murthya, M.,Babu K.M., Kumara, S. R., 2014. Optimization of Machinability Parameters of Al6061 Using Taguchi Technique, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 63-66.
- Rawat, U., Shah M. and Patil, R.M., 2014. Experimental Study of Effect of Cutting Parameters on Cutting Force in Dry Turning of SS316L Using Taguchi Method, *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 1, 8, 404-408.
- Uçun, İ., 2009.Doğal Taş Sanayinde Kullanılan Elmas Soketlerin Kesme Performansı Ve Hasar Analizi Çerçevesinde İncelenmesi.*Doktora Tezi*,Afyon Kocatepe Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özbek, O.,2008.Çankırı Kahverengi Mermerinin Kesilebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi.*Yüksek Lisans Tezi*,Afyon Kocatepe Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Asche, J., 2000. Tiefschleifen von Granit. Dr. Dissertation, Dem Fachbereich für Maschinenbau der Universität Hannover.