

Doğal Taşların Dairesel Testereli Kesiminde Birim Enerjinin Kesim ve Ortam Parametrelerinden Kestirimi

Fatih BAYRAM^{1,*}

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

*Sorumlu yazar

e-posta: bayramfatih@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8510-7936>

Geliş Tarihi: 07.01.2020

Kabul Tarihi: 23.03.2020

Öz

Doğal taş işletmeciliği ve işlemeciliği, ülkemiz maden ihracatı için önemli sektörlerden biridir. Bu sektörde uluslararası rekabetin sürdürülebilir olması kaynakların verimli kullanımına bağlıdır. Doğal taş ocaklarından elde edilen blokların da bu kapsamda değerlendirilmesi gerekmektedir. Doğal taş işleme tesislerinde blokların işlenmesi sırasında uygulanan kesim yöntemlerinin performanslarının belirlenmesi önemlidir. Kesim sırasında harcanan birim enerji dairesel testereli kesimde performans ölçütlerinden biridir. Bu çalışmada, birim enerjinin bazı kesim ve ortam parametrelerinden belirlenmesi amaçlanmıştır. Birim enerjinin belirlenmesi için kesim parametreleri olarak testere çevresel hızı ve ilerleme hızı seçilmiştir. Benzer şekilde, ortam parametreleri olarak da testere titreşimi ve gürültü değerleri, kesim sonrası yüzeylerdeki pürüzlülük, kesim sırasında oluşan talaş yığından belirlenen pasa irilik katsayısı seçilmiştir. Bu parametrelerin birim enerji ile ilişkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel çalışmalarla dairesel testereli kesimde kullanılan birim enerjinin çevresel hız, ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve pasa irilik katsayısı parametrelerinden kestirime yönelik bir model kurulmuştur. Bu istatistiksel modelin yüksek güvenilirlikte ($R^2=0.948$) birim enerji değerlerini kestirebileceği tespit edilmiştir. Bu modelde kullanılan parametreler, kesimde harcanan birim enerjinin tatmin edici biçimde tahmin edilmesinde ve dairesel testereli kesimin performansının belirlenmesinde kullanılabilir.

Anahtar kelimeler

Dairesel testereli kesim;
Birim enerji;
Çevresel hız;
İlerleme hızı;
Yüzey pürüzlülüğü;
Pasa irilik katsayısı

Estimation of Unit Energy from Cutting and Environment Parameters in Circular Cutting of Natural Stones

Abstract

Natural stone mining and processing is one of the important sectors for Turkey's mining exports. Sustainable international competition in this sector depends on the efficient use of resources. The natural stone blocks obtained from quarries should be evaluated within this scope. It is important to determine the performance of the cutting methods used in the processing of blocks in natural stone processing plants. The unit energy consumed during cutting is one of the performance criteria for circular cutting. In this study, it is aimed to determine the unit energy from some cutting and environment parameters. In order to determine the unit energy, the peripheral speed and advance rate were selected as cutting parameters. Similarly, sawblade vibration and sound levels, roughness of the surfaces after cutting, and the coarseness index determined from the pile of chips formed during cutting were selected as environment parameters. The relationships of these parameters with unit energy were evaluated statistically. A model was derived with the statistical studies for estimating the unit energy consumed in circular cutting from the parameters of peripheral speed, advance rate, surface roughness and coarseness index. It has been determined that this statistical model can estimate unit energy with high reliability ($R^2=0.948$). The parameters used in this model can be satisfactorily used to estimate consumed unit energy during cutting and to determine the performance of the circular cutting.

Keywords

Circular Cutting;
Unit energy;
Peripheral speed;
Advance rate;
Surface roughness;
Coarseness index

1. Giriş

Doğal taş bloklarından levha/plaka üretimi, doğal taş işlemeciliğinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu işlemin başarısı, sonrasında gelen ebatlama, cilalama-parlatma, yüzey işlemleri vb. aşamalarının başarısını ve performansını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla, doğal taş bloklarının kesim işlemlerinin üretim akım şeması göz önüne alınarak en uygun şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, doğal taş bloklarından levha/plaka üretimi için çeşitli kesim yöntemleri ve bu yöntemleri içeren makinalar kullanılmaktadır. Dairesel testereli kesim makinaları da levha/plaka üretimi için oldukça yaygın şekilde kullanılan makinalardır. Blokların fiziksel (düzgün şekilli ve düzensiz) ve yapısal özelliklerine göre kesilmesinde rahatlıkla kullanılabilmesi, yatırım maliyeti açısından benzer işlevdeki makinalara göre düşük olması, kullanılan elmas soketlere göre her çeşit doğal taş bloklarının kesiminin yapılabilmesi dairesel testereli kesim makinalarının tercih edilmesinin ve kullanımının önde gelen sebeplerindendir.

Dairesel testereli kesim makinalarının verimli kullanımları için kesilecek kayaca uygun kesim koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. En uygun kesim koşullarının belirlenmesi için kesim performansına etki eden parametrelerin incelenmesi doğal taş sektörüne önemli katkılar sunabilmektedir. Kullanılan dairesel testerelerde kesim sırasında kullanılan birim enerji değerleri makine performansının tayininde kullanılabilecek önemli parametrelerdendir. Dairesel testereli kesim işlemlerinde kesimde kullanılan birim enerjinin belirlenmesi, kullanılan makina çalışma sistemine yerleştirilecek özel donanımlarla yapılabilir. Bunun yanında, bu performans ölçütünün belirlenmesi için, kesim parametrelerinin (testere çevresel hızı ve ilerleme hızı) ve ortam parametrelerinin (kesimlerde testere çevresinde oluşan titreşim ve gürültü değerleri, kesim sonrası doğal taş yüzeylerindeki pürüzlülük, kesim sırasında oluşan talaş yığınının belirlenen pasa irilik katsayısı) kullanımı etkili bir çözüm olabilir.

Birçok araştırmacı tarafından dairesel testereli kesim performans parametreleri üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmaların bir kısmında özellikle kesme performansı ile kesme kuvvetleri, kesim parametreleri ve kayaç özellikleri ilişkilendirilmiştir (Wright and Cassapi 1985, Pai 1987, Wright and Tagg 1998, Xu *et al.* 2003, Büyüksağış 2007, Polini and Turchetta 2007, Güney 2011, Bayram *et al.* 2012, Bayram and Yaşitlı 2013, Tumaç 2015, Mikaeil *et al.* 2016). Bunların yanında özgül enerji ve enerji tüketiminin kesme performansı ile ilişkilerinin incelendiği bazı çalışmalar da mevcuttur (Büyüksağış and Göktan 2005, Yurdakul and Akdaş 2012, Aydın *et al.* 2013, Yurdakul 2015, Huang *et al.* 2018).

Bu çalışmada ise kesme performansının bir göstergesi olan birim enerji değerlerinin istatistiksel olarak kesim ve ortam parametrelerinden tespiti amaçlanmıştır. Çalışmada, kesim parametreleri olarak alınan testere çevresel hızı ve ilerleme hızı, ortam parametreleri olarak alınan testere titreşimi ve gürültü değerleri, kesim sonrası doğal taş yüzeylerindeki pürüzlülük, kesim sırasında oluşan talaş yığınının belirlenen pasa irilik katsayılarının birim enerji ile ilişkileri incelenmiştir. Yapılan istatistiksel incelemeler sonucunda, kesim ve ortam parametrelerinden çevresel hız, ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve pasa irilik katsayısı değişkenleriyle kurulan istatistiksel modellerle birim enerjinin kestirimi sağlanmıştır.

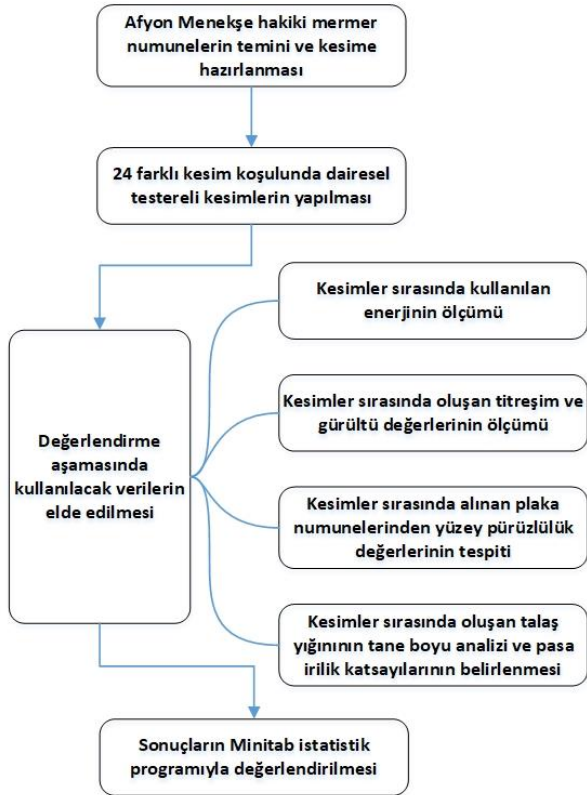
2. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışma, temel olarak üç aşamadan oluşmuştur. Birinci aşamada, ticari ismi Afyon Menekşe olan hakiki mermer numunesi üzerinde tam otomatik bilgisayar kontrollü dairesel testereli kesim makinası (Şekil 1) ile laboratuvar ortamında kesimler gerçekleştirilmiştir. Bu kesimler, sabit derinlikte (60 mm) 4 farklı çevresel hızda (40, 50, 60, 70 m/sn) ve 6 farklı ilerleme hızında (400, 500, 600, 700, 800, 900 mm/dak) olmak üzere toplam 24 farklı kesim koşulunda yapılmıştır. Her kesim koşulunda yaklaşık 20-22 lt/dak su kullanılmıştır. Kesimler sırasında kullanılan birim enerji değerleri, testere titreşimi ve gürültü değerleri ölçülmüştür. İkinci aşamada, kesimleri yapılan plakalardan alınan numuneler

üzerinde pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Aynı zamanda kesim sırasında alınan talaş numunelerinin tane boyu analizleri belirlenmiş ve pasa irilik katsayıları hesaplanmıştır. Son aşamada ise, elde edilen veriler istatistiksel değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. Birim enerji ile kesim ve ortam parametreleri arasındaki ilişkiler incelenerek elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Çalışmaya yönelik bir akım şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Dairesel testereli kesim makinası



Şekil 2. Çalışmada izlenen akım şeması

3. Çalışma Kapsamında Kullanılan Parametrelerin Ölçümü

3.1. Birim Enerji Ölçümleri

Bilgisayar kontrollü tam otomatik dairesel testereli kesim makinasında elektrik enerjisiyle ilgili tüm parametreler mikroişlemcili bir enerji analizörü ile takip edilebilmektedir. Bu analizörle kesim sırasında kullanılan enerji anlık bir şekilde ölçülebilmekte ve veriler kolaylıkla bilgisayar ortamına aktarılabilir. Aktarılan bu anlık enerji verilerinden kesimlerde kullanılan birim enerji değerleri hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamındaki kesimler için tespit edilen birim enerji değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

3.2. Titreşim Ölçümü

Kesimler sırasında oluşan yanal titreşimin ölçümleri, testere ana miline yerleştirilen titreşim ölçerle yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında titreşim genliği esas alınmıştır.

Çalışma kapsamında belirlenen yanal titreşim değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

3.3. Gürültü Ölçümü

Gürültü ölçümleri, portatif dijital bir gürültü ölçer ile yapılmıştır. Gürültü seviyesi ölçümlerinde kesim yapılan her koşulda (her çevresel hız ve ilerleme hızı için) makina kesime başlamadan (boşta çalışırken) testere etrafında ilk gürültü ölçümleri yapılmıştır. Testere kesime başlayıp tam olarak kayaç içerisine girdikten sonra ikinci gürültü ölçümü yapılmıştır. Bu iki ölçüm arasındaki fark alınıp her kesim koşulu için kesimden kaynaklı net gürültü seviyeleri belirlenmiştir. Böylece testere çevresinde oluşan gürültü değerleri hem arka plan gürültülerinden hem de makinanın kesim dışı çalışırken oluşturduğu gürültülerden temizlenmiştir.

Çalışma kapsamında belirlenen gürültü değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

3.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Kesim sonrasında elde edilen plakaların ortalama yüzey pürüzlülükleri, taşınabilir bir yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür. Pürüzlülük cihazı, düz bir yüzey üzerinde düz bir hat boyunca ilerleyen ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak yukarı ve aşağı

hareket eden kaydedilebilir bir uca sahiptir. Bu ucun yukarı ve aşağı hareketiyle oluşan titreşimler büyütülür ve kaydedilir. Böylece yüzeyin pürüzlülük profili mikron seviyesinde elde edilir. Birçok yüzey pürüzlülük ölçüm parametresi kullanılmaktadır; ancak aritmetik ortalamadan mutlak sapma (R_a) en çok kullanılan değerdir. Bu çalışmada da R_a değeri yüzey pürüzlülük parametresi olarak kullanılmış ve plakaların üç ayrı bölgesinden yapılan ölçümlerin ortalaması o kesim koşulu için yüzey pürüzlülük değeri olarak alınmıştır.

Çalışma kapsamında belirlenen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

3.5. Pasa İrilik Katsayısının Belirlenmesi

Pasa irilik katsayısı birimsiz bir terimdir ve kazı mekanizmasında kazılan malzemenin tane boyu

dağılımından hesaplanmaktadır. Bu hesap için kazılan malzemenin tane boyu analizi yapılır ve toplam elek üstü malzeme yüzdeleri belirlenir. Bu malzeme oranlarının toplamı pasa irilik katsayısını vermektedir (Altındağ 2003).

Dairesel testereli kesim mekanizması testere yardımıyla kayaç üzerinde yapılan bir çeşit kazı işlemidir. Kesim işlemi sırasında oluşan talaş yığınının pasa irilik katsayısı belirlenebilir. Bu çalışmada, pasa irilik katsayısının belirlenebilmesi için her kesim koşulu için kesim sırasında oluşan ve kesim olduğundan dışarı atılan talaştan numune alınmıştır. Lazer tane boyu analiz cihazıyla talaşın tane boyut dağılımı belirlenmiştir. Belirlenen tane boyu dağılımından pasa irilik katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan pasa irilik katsayıları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışma kapsamında kullanılan birim enerji, kesim ve ortam parametreleri

Çevresel Hız (PS) (m/sn)	İlerleme Hızı (AR) (mm/dak)	Titreşim Genliği (VA) (Hz)	Gürültü Seviyesi (SL) (dB)	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) (μ m)	Pasa İrilik Katsayısı (CI)	Birim Enerji (UE) (kW/saat)
40	400	12.2	11	10.002	1270.33	6.594
40	500	11.2	11	8.845	1260.98	5.342
40	600	13.6	12	8.182	1257.39	4.985
40	700	13.6	13	8.710	1223.73	4.575
40	800	12.6	13	8.255	1296.91	4.525
40	900	16.2	12	7.242	1351.30	4.077
50	400	17.8	9	9.771	1244.36	7.210
50	500	17.6	10	7.562	1208.02	6.342
50	600	24.4	12	7.953	1196.77	5.685
50	700	23.2	11	8.119	1194.71	5.050
50	800	23.2	11	6.658	1285.16	4.790
50	900	27.0	13	5.732	1421.70	4.079
60	400	8.4	9	7.917	1237.48	7.859
60	500	9.2	9	7.517	1220.08	6.869
60	600	11.0	8	7.070	1201.23	5.919
60	700	10.2	8	6.654	1230.99	5.474
60	800	7.8	9	6.753	1221.13	4.845
60	900	10.4	9	6.160	1272.73	4.727
70	400	14.6	6	9.997	1173.14	8.719
70	500	11.6	6	7.346	1221.46	6.881
70	600	10.8	5	7.654	1163.25	6.487
70	700	12.0	7	6.921	1180.86	5.790
70	800	11.2	6	7.149	1186.64	5.148
70	900	11.4	6	6.615	1267.84	5.038

4. İstatistiksel Çalışmalar

İstatistiksel çalışmalar, Minitab isimli istatistiksel yazılımla gerçekleştirilmiştir. Minitab istatistiksel

yazılımı, geçmişte istatistik eğitimi verilmesi için tasarlanan bir programken günümüzde en güvenilir ve kullanımı kolay istatistiksel yazılımlardan biri olmuştur. Yapılan istatistiksel çalışmalara bağımlı (birim enerji) ve bağımsız değişkenlerin (çevresel hız, ilerleme hızı, titreşim genliği, gürültü seviyesi, yüzey pürüzlülüğü, pasa irilik katsayısı) temel istatistiklerinin incelenmesiyle başlamıştır. Modelde kullanılacak parametrelerin temel istatistikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de verilen çarpıklık (Skewness) katsayılarına göre, veriler normal dağılım için kabul edilen değerler (± 3) arasındadır.

Birim enerjilerin kestirimine yönelik yapılan istatistiksel çalışmalarda, ilk olarak regresyon denkleminde kullanılacak parametrelerin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Kurulacak çok değişkenli regresyon modeli için, en iyi değişkenlerin seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu seçim, en iyi alt kümeler regresyonu (best subsets regression) ile yapılmıştır. En iyi alt kümeler regresyonu, bağımsız değişkenleri kullanarak en

uygun regresyon modelleri tanımlayan otomatik bir işlemdir. Bu işlemde temel yaklaşım, istatistiksel kıstasları tamamen sağlayacak en küçük bağımsız değişken alt kümesini seçmektir. Bütün değişkenlerden oluşan setin yerine, alt küme setini kullanmanın nedeni, daha az bağımsız değişken kullanarak bağımlı değişkenin daha küçük değişimlerle kestirilebileceğidir.

En iyi alt kümeler regresyonunda kurulacak modelleri karşılaştırmada en çok kullanılan ölçütler, düzeltilmiş belirtme katsayısı (düzeltilmiş R^2) ve Mallows' C_p istatistiğidir. Düzeltilmiş R^2 değeri, R^2 değerinden daha düşüktür ve ne kadar yüksekse model o kadar uygundur. Mallows' C_p istatistiği ne kadar düşükse model o kadar uygundur. Bu iki parametre ile karar verilemediği durumlarda tahmini R^2 , ortalama karesel hata ve kurulacak modellerdeki bağımsız değişkenlerin varyans şişme faktörlerinin incelenmesi gerekmektedir. Çalışma parametreleri kullanılarak yapılan en iyi alt kümeler regresyonu sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan parametrelerin temel istatistikleri.

Değişken	Ortalama	Standart Sapma	Minimum Değer	Maksimum Değer	Çarpıklık (Skewness)	Basıklık (Kurtosis)
UE	5.709	1.197	4.077	8.719	0.82	0.25
PS	55.00	11.42	40.00	70.00	0.00	-1.39
AR	650.0	174.5	400.0	900.0	0.00	-1.28
VA	14.22	5.34	7.80	27.00	1.18	0.41
SL	9.417	2.518	5.000	13.000	-0.18	-1.16
R_a	7.699	1.146	5.732	10.002	0.61	-0.06
CI	1241.2	58.5	1163.3	1421.7	1.44	2.91

Çizelge 3. En iyi alt kümeler regresyonu sonuçları.

Model No	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahmini R^2	Mallows' C_p	Ortalama Karesel Hata (MSE)	PS	AR	VA	SL	R_a	CI
1	74.4	73.2	68.7	74.7	0.61958		X				
2	92.0	91.3	88.6	11.4	0.35346	X	X				
3	93.2	92.1	88.9	9.3	0.33582	X	X				X
4	94.9	93.8	90.2	5.0	0.29873	X	X			X	X
5	95.4	94.1	87.6	5.0	0.29033	X	X		X	X	X
6	95.4	93.8	85.4	7.0	0.29865	X	X	X	X	X	X

En iyi alt kümeler regresyonu sonucunda, birim enerjinin kestirimine yönelik 4 ve 5 nolu modellerin uygun modeller olduğu tespit edilmiştir. Bu modellerden en uygun modelin seçimi için düzeltilmiş R^2 ve Mallows' C_p değerlerinden net bir şekilde sonuç almak mümkün olmamıştır. Çizelge 3 incelendiğinde, 4 ve 5 nolu regresyon modellerinin

düzeltilmiş R^2 ve Mallows' C_p değerlerinin, bunun yanında tahmini R^2 ve ortalama karesel hata değerlerinin net bir şekilde birbirinden ayrıldığı görülmüştür. Bu tip durumlarda kurulabilecek olan modellerin bağımsız değişkenlerinin varyans şişme faktörleri incelenmiştir. Değişkenlerin varyans şişme faktörleri Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. 4 ve 5 nolu modellerin bağımsız değişkenlerinin varyans şişme faktörleri

Değişken	4 Nolu Model	5 Nolu Model
PS	2.15	11.46
AR	2.65	2.65
SL	-	9.79
R _a	3.14	3.53
CI	2.09	2.09

Varyans şişme faktörü (variance inflation factor), regresyon modelindeki bağımsız değişkenlerin birbirleri arasındaki doğrusal ilişki hakkında bilgi vermektedir. Regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenlerin birbirleri arasında doğrusal ilişkilerin (çoklu bağıntı) olmaması istenir. Bu nedenle varyans şişme faktörü değerlerinin 10'un üzerinde olmaması gerekmektedir. Bağımsız (açıklayıcı) değişken ile ilgili varyans şişme faktörü 10'dan büyük olduğunda, bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiler sorun oluşturabilir. Çizelge 4 incelendiğinde, 5 nolu modelde varyans şişme faktörünün 10'un üzerinde olduğu bağımsız

değişken görülmektedir. Bu sebeple 4 nolu modelin hem varyans şişme faktörleri hem de daha az sayıda bağımsız değişkenle iyi sonuç vermesinden dolayı tercih edilmesi gerekmektedir. Uygun regresyon modeli Eşitlik 1'de verilmiştir.

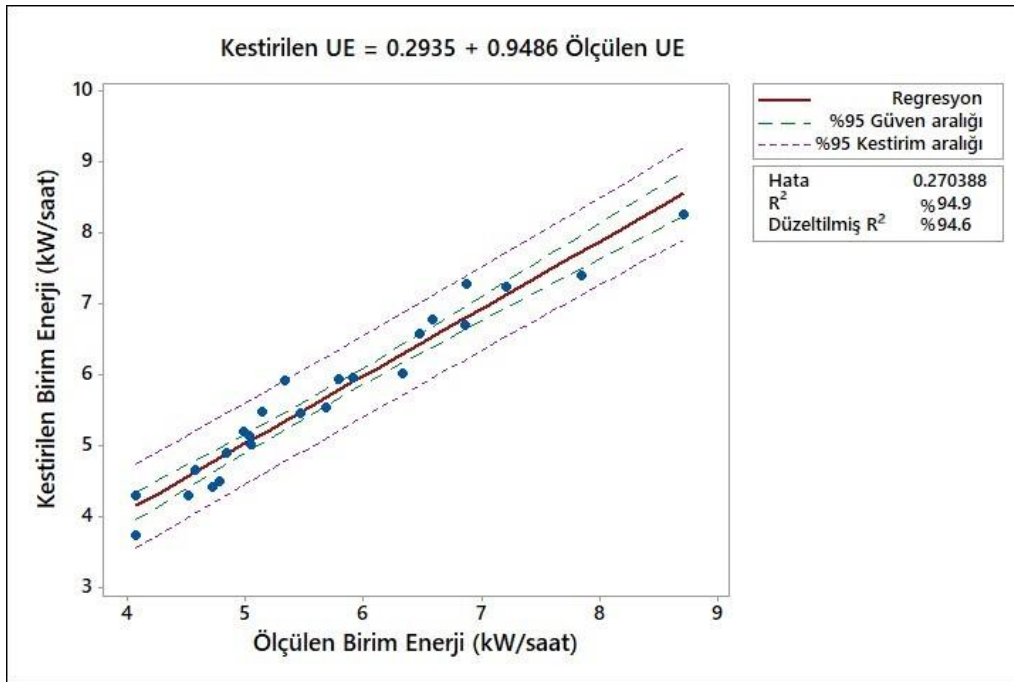
$$UE = -1.180 + 0.062PS - 0.005AR + 0.241R_a + 0.004CI \quad (1)$$

Eşitlik 1'de verilen regresyon denkleminin belirtme katsayısı (R²) 0.948 olarak bulunmuştur. Kurulan bu modelin istatistiksel açıdan geçerliliği, varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir (Çizelge 5). Model, P olasılık değerine göre çok yüksek düzeyde anlamlılık ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında ölçülen birim enerji değerleriyle regresyon modeliyle kestirilen birim enerji değerleri arasındaki ilişki de değerlendirilmiş ve Şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 5. Birim enerji tahmini için kurulan regresyon denkleminin varyans analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Düzeltilmiş Karelerin Toplamı	Düzeltilmiş Ortalamanın Karesi	F Değeri	P (Olasılık)
Model	4	31.2796	7.81990	87.63	0.000
PS	1	5.5151	5.51506	61.80	0.000
AR	1	7.7063	7.70627	86.35	0.000
R _a	1	0.5599	0.55992	6.27	0.022
CI	1	0.6315	0.63147	7.08	0.015
Hata	19	1.6956	0.08924		
Toplam	23	32.9752			

**Şekil 3.** Ölçülen ve kestirilen birim enerji arasındaki ilişki

5. Sonuçlar

Bu çalışmada dairesel testereli kesim makinasında yapılan kesim işlemlerinde kullanılan birim enerjinin testere çevresel hızı, ilerleme hızı ve bazı ortam parametrelerinden kestirimi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Birim enerji (UE) değerleriyle istatistiksel olarak en çok ilişkili olan parametrelerin çevresel hız (PS), ilerleme hızı (AR), yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve pasa irilik katsayısı (CI) olduğu tespit edilmiştir.
- PS, AR, R_a ve CI parametreleri kullanılarak UE'nin kestirimine yönelik en iyi alt kümeler regresyonu ve buna bağlı olarak çok değişkenli regresyon analizi gerçekleştirilmiştir ve aşağıdaki denklem elde edilmiştir:
$$UE = -1.180 + 0.062PS - 0.005AR + 0.241R_a + 0.004CI$$
- Regresyon denkleminin belirtme katsayısı (R^2) 0.948 olarak bulunmuştur.
- Elde edilen regresyon denkleminin istatistiksel olarak çok yüksek düzeyde anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Çevresel hız ve ilerleme hızı birim enerjiyi etkileyen önemli kesim parametreleri arasındadır. Elde edilen regresyon denkleminde de görüldüğü gibi, birim enerji çevresel hızla doğru, ilerleme hızıyla ters orantılıdır. Dairesel testereli kesimde enerji kullanımı açısından en uygun kesim koşulları için en düşük çevresel hızın ve en yüksek ilerleme hızının sağlanması gerekmektedir. Sabit ilerleme hızında çevresel hız artışı kayaç içerisinde testerenin daha kolay hareketini sağlarken kullanılan motor gücünü ve dolayısıyla enerji tüketimini artırmaktadır. Bunun sonucu olarak birim enerji artmaktadır. Sabit çevresel hızda ilerleme hızı artışı ise, daha kısa sürede istenen kesimin yapılması sağlandığı için tüketilen enerji miktarını ve dolayısıyla birim enerjiyi azaltmaktadır.

Bunun yanında kesim sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ve pasa irilik katsayısı parametrelerinin de birim enerji ile doğru orantılı olduğu regresyon denkleminde görülmektedir. Kesilen plakaların

yüzey pürüzlülüğünün düşük olması birim enerjinin düşüklüğüyle açıklanabilmekte ve doğal taş işleme tesislerinde daha sonraki yüzey işleme aşamalarını kolaylaştırmaktadır. Kesim sırasında oluşan talaştan belirlenen pasa irilik katsayısı da birim enerjiyle benzer ilişkidir.

Dairesel testereli kesim makinalarında en büyük işletme maliyeti sayılabilecek olan kesim işlemlerinde kullanılan birim enerji değerlerinin kesim ve bazı ortam parametrelerinden kestirilebileceği görülmektedir. Dolayısıyla, bu parametrelerin kesim performansının tayininde kullanımı uygundur. Parametrelerin birbiriyle ve birim enerjiyle ilişkileri düşünüldüğünde en düşük birim enerjinin belirlenmesi oldukça karmaşık bir işlem haline gelmektedir. Bu değerlendirmenin işletme koşulları ve kesilen kayacın sonraki kullanım amacına uygun şekilde yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında yapılan kesim işlemleri için Doç. Dr. Nazmi Erhan YAŞITLI'ya ve tane boyu analizleri için Doç. Dr. Namık Atakan AYDOĞAN'a teşekkür ederim.

6. Kaynaklar

- Altındağ, R., 2003. Estimation of penetration rate in percussive drilling by means of coarseness index and mean particle size. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **36 (4)**, 323–332.
- Aydın, G., Karakurt, İ and Aydın, K., 2013. Development of predictive models for the specific energy of circular diamond sawblades in the sawing of granitic rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **46(4)**, 767–783.
- Bayram, F. and Yaşitli, N.E., 2013. Effects of sawing parameters on natural stone processing performance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, **227(4)**, 287–294.
- Bayram, F., Yaşitli, N.E., Kulaksız, S. and Özçelik, 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*, **227(5)**, 1069–1079.

- Büyüksağış, İ.S. and Göktaş, R.M., 2005. Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter. *Journal of Materials Processing Technology*, **169**, 258-262.
- Büyüksağış, İ.S., 2007. Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade. *Journal of Materials Processing Technology*, **183**, 399-406.
- Güney, A., 2011. Performance prediction of large-diameter circular saws based on surface hardness tests for Mugla (Turkey) marbles *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **44**, 357-366.
- Huang, G., Zhang, M., Huang, H., Guo, H. and Xu, X., 2018. Estimation of power consumption in the circular sawing of stone based on tangential force distribution, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **51**, 1249–1261.
- Mikaeil, R., Haghshenas, S.S., Haghshenas, S.S. and Ataei, M., 2016. Performance prediction of circular saw machine using imperialist competitive algorithm and fuzzy clustering technique. *Neural Computing and Applications*, **29**, 283–292.
- Pai, D.M., 1987. A fundamentals study of the diamond sawing of rocks. PhD Thesis, Arizona State University, 90.
- Polini, W. and 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.
- Tumaç, D., 2015. Predicting the performance of large diameter circular saws based on Schmidt hammer and other properties for some Turkish carbonate rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **75**, 159–168.
- Wright, D.N. and Cassapi, V.B., 1985. Factors influencing stone sawability. *Industrial Diamond Review*, **2**, 84-87.
- Wright, D.N. and Tagg, W.R.J., 1998. The development of a rock classification system for use with diamond tools. *Industrial Diamond Review*, **58**, 113-120.
- 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.
- Yurdakul, M., 2015. Effect of cutting parameters on consumed power in industrial granite cutting processes performed with the multi-disc block cutter. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **76**, 104–111.
- Yurdakul, M. and Akdaş, 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.