

## BLOK KESİCİLERLE DOĞAL TAŞ KESİMİNDE ELEKTRİK TÜKETİM DEĞERLERİ İÇİN MODEL EĞRİ ÖNERİSİ: GERÇEK MERMERLER ÖRNEĞİ

*On the Power Consumption during Natural Stone Cutting Processing by Using Block Cutters: A Model Curve for Marbles*

Murat YURDAKUL\*

Hürriyet AKDAŞ\*\*

### ÖZET

Doğal taş bloklarından levha ve plaka elde edilmesinde blok kesici ST'ler yaygın olarak kullanılırlar. Özellikle, blokların ilk kesim işlemlerinin büyük bir çoğunluğunun blok kesici ST'lerle yapıldığı işletmelerde, önemli maliyet kalemlerinden birisi de enerji maliyetleridir. Enerji tüketim değerleri, kesme veriminin ve kesme performansının da önemli göstergelerindedir. Tüm kesim işlemlerinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için, enerji tüketim sürecinin iyi anlaşılması ve değerlendirilmesi gereklidir. Bu çalışmada, blok kesici ST'lerle, gerçek mermer kesim işlemlerinde elektrik enerjisi tüketim durumu ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla, beş farklı bölgede üretimi yapılan gerçek mermerler seçilmiş ve söz konusu işletmelerde gerçek mermer bloklarının blok kesici ST'lerle kesimi esnasında çok sayıda ve tekrarlı olarak, elektrik tüketim değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümlerin laboratuvar ortamında olmayıp, doğrudan endüstride yapılmış olması, endüstriye ait gerçek değerleri ortaya koyması açısından önemlidir. Ölçüm yapılan tesislerde, farklı kesme koşullarında çalışan blok kesicilerin özellikleri ile birlikte, gerçek mermer bloklarının da önemli fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ölçüm işlemlerinde, blok kesici ST'lerin elektrik panelindeki dikey testereye enerji gönderen nakil hattına seyyar bir güç analizörü yerleştirilmiştir. Farklı ilerleme hızı ve kesme derinliklerinde kesim esnasında ve kesime hazırlık aşamasında elektriksel verilerin tamamı kaydedilmiştir. Kaydedilen verilerin analizi sonucunda tüm kesme hattı boyunca enerji tüketim değerlerinin üç farklı bölgede değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen verilerin analizi ve değerlendirilmesi ile blok kesici ST'lerle gerçek mermer kesim işlemlerinde, elektrik enerjisi tüketimine ilişkin genel bir model eğri önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Blok Kesiciler; Enerji Maliyetleri, Gerçek Mermerler.

### ABSTRACT

Block cutter STs are commonly used in obtaining strips from natural stone blocks. Especially, in stone processing plants in which blocks are commonly cut with block cutter STs,, one of the most important cost factors is the cost of energy. Energy consumption values are important indicators of sawing efficiency and performance. For correct evaluation of all the sawing stages, it is necessary to understand and evaluate the energy consumption stages. In the present study, the electric energy consumption in the stone cutting processes with the block cutter STs was investigated in detail. For this purpose, in different natural stone processing plants, a power analyzer was placed in the transmission line giving energy to the vertical saw blade in the electric panel of block cutter STs functioning in different cutting conditions. The electrical data were recorded in the preparation and during cutting with different feed rates and cutting depths. The data revealed that the energy consumption values varied in three different regions for all the measurements during the cutting process. As a result of the analysis and examination of the data obtained, a general model curve was suggested regarding the electric energy consumption for marble cutting processes with block cutter STs.

**Keywords:** Block Cutters; Energy Cost, Marbles.

\* Yrd.Doç.Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bozüyük MYO., Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı, BİLECİK, murat.yurdakul@bilecik.edu.tr,

\*\* Doç.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, MMF, Maden Müh. Böl., ESKİŞEHİR

## 1. GİRİŞ

Doğal taş işleme tesislerinde, kesme işlemleri sırasında optimum kesme parametrelerinin düzenlenmesi için enerji tüketim sürecinin iyi anlaşılması gerekir. Bir ürün elde etmek amacıyla yapılan doğal taş kesme işlemlerinde amaç, mümkün olan en az maliyetle üretim yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda doğal taş işleme tesislerinde verimlik ön planda olmalıdır. (Büyüksağış, 1998; Özçelik ve diğ., 2004; Yurdakul, 2009).

Doğal taş üretim tesislerinde, üretimin temel gider kalemlerinden biri de enerji giderleridir (Çınar, 2007). Bu amaçla enerji tüketim değerlerinin kontrol altına alınması, maliyet rakamlarının bilinmesi ve enerji tüketim mekanizmasının anlaşılması oldukça önemlidir. Literatürde, doğal taş kesim işlemlerinde harcanan enerji miktarının belirlenmesi için laboratuvar ölçekli birçok çalışma bulunmaktadır.

Konstanty (2002) 400 mm çaplı testere kullanarak yaptığı laboratuvar ölçekli kesme çalışmalarında, sabit kesme hızı ve sabit çevresel hız koşullarında enerji tüketiminin teğetsel kesme kuvvetlerinin ve çevresel hızın bir fonksiyonu olduğunu belirtmektedir. Bunun yanında kesme derinliğinin artması ile de enerji tüketiminin artacağını ifade etmektedir.

Jennings ve Wright (1989) laboratuvar ortamında yaptıkları çalışmalarında farklı kesme derinliği ve ilerleme hızlarında enerji tüketimini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, ilerleme hızı sabit olmak üzere, kesme derinliği artırılarak kesme hızının artırıldığı durumda tüketilen özgül kesme enerjisi, kesme derinliğinin sabit olup ilerleme hızının artırıldığı kesme durumundan daha fazla artış eğilimindedir. Ayrıca çalışmalarında testere performansının belirlenmesi için sarf edilen güç ve aşınma değerlerinin incelenmesinden başka, segment yüzeyi ile matriks ve elmas taneleri arasındaki etkileşimin de değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Yu ve Xu (2003) kayaç kesiminde kullanılan elmaslı testerelerin kesme performansını iyileştirmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, 350 mm çaplı testere ve 400 cm<sup>2</sup>/dak kesme hızında çalışan laboratuvar ölçekli köprü kesme makinesi kullanmışlar ve elmas konsantrasyonu-enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, granit kesiminde elmas yüzdesi ile kesme performansı arasında iyi bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma şartlarında en düşük enerji sarfiyatının %35 elmas kon-

santrasyonunda elde edildiğini belirtmişlerdir.

Xu (2000), 45 m/s çevresel hızda 30-108 mm<sup>2</sup>/s kesme hızında granit kesimi için yaptığı araştırmalarında, bir elmas tanesi üzerine gelen yük arttıkça tüketilen güç değerinin önce artış eğiliminde olduğunu, belirli bir değerden sonra ise azalış eğiliminde olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca çalışmada, kesilen birim genişlik arttıkça, tüketilen enerji miktarının da arttığı ifade edilmektedir.

Şengün ve diğerleri (2009) Isparta yöresinde bulunan ocaklardan üretilen magmatik kökenli bazı doğal taşların kesilebilirliklerini inceledikleri çalışmalarında laboratuvar ölçekli bir kesme seti kullanmışlardır. 350 mm çaplı dairesel testere ile 20 mm kesme derinliği ve 30 m/s sabit çevresel hız değerlerinde, en düşük özgül kesme enerjisinin elde edilmesi için denemeler yapmışlardır. Söz konusu sistemde, akım ve gerilimi ölçerek tüketilen enerji değerlerini hesaplamışlar ve özgül kesme enerjisi değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, kayaçların kesme işlemlerinde harcanan enerji değerlerinin, kesilecek kayacın fiziko-mekanik özelliklerinden tahmin edilebileceği öngörülmüştür. Söz konusu çalışmada kayaçların Shore ve Schmidt sertlik değerlerinin artmasıyla, özgül enerji değerinin arttığı ortaya konulmuştur.

Dusun ve Çimen (2010), eviricili ve eviricisiz mermer kesme işleminin elektrik enerjisi tüketimi üzerine etkilerini araştırdıkları laboratuvar ölçekli çalışmalarında, testere dönüş hızının enerji tüketiminde önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Kılıç ve diğerleri (2003) yaptıkları çalışmalarında, Diyarbakır yöresi mermerlerinin kesilebilirlik analizlerini değerlendirmişlerdir. Uygulamadan elde edilen verilerde, 1200 cm çaplı dairesel bir testere kullanılan bir blok kesici ST'nin, dört farklı doğal taş kesimi esnasında tüketilen enerji değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kesim için harcanan enerji değerini en çok etkileyen fiziko-mekanik parametrelerin; basınç dayanımı, çekme dayanımı, nokta yük dayanımı olduğu belirlenmiştir.

Türkiye'de doğal taş işleme tesislerinde blok kesici ST'lerin kullanımı oldukça yaygındır. Bu çalışmada, blok kesici ST'lerin kullanıldığı doğal taş işleme tesislerinden elde edilen endüstriyel uygulama verileri kullanılmıştır. Bu amaçla, doğal taş endüstrisinde yedi farklı blok kesici ST'den, beş farklı gerçek mermer kesimi esnasında yerinde ölçümler alınmış ve blok kesici ST'lerle gerçek mermerlerin kesimi işlemlerinde

tüketilen elektrik enerjisi değerlerine ilişkin bir modelin ortaya konulması hedeflenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 1.1. Kesilen Malzeme

Kesime ait enerji tüketim karakteristiğini belirleyen en önemli faktörler arasında kayacın mineralojik-petrografik özellikleri sayılabilir. Bu çalışmada Türkiye'nin beş farklı bölgesinden elde edilen, Dünya'da ve Türkiye'de ticareti yapılan beş farklı doğal taşta ait endüstriyel kesim verileri kullanılmıştır. Kesimi yapılan doğal taş örneklerinden numuneler alınmış ve alınan numunelerden fiziko-mekanik özellikler belirlenmiştir. Ayrıca numunelerden elde edilen ince kesit örnekleri üzerinden kantitatif modal mineralojik analiz yapılmıştır. Örnekler Folk sınıflama sistemine göre (Folk, 1962) sınıflandırılmış ve "mermer" grubuna giren örnekler değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan doğal taşlar ve doğal taş örneklerine ait özellikler şunlardır:

#### *Ender Afyon Şeker*

Örnek, yer yer heteroblastik, yer yer de granoblastik dokulu mezokristalin karbonat kristallerinden oluşmuştur. Tüm karbonat kristallerinde basınç ikizi yer almaktadır.

#### *Özsaç Uşak Taşı*

Örnek, yer yer heteroblastik, yer yer granoblastik dokuludur. Makrokristalin karbonat kristallerinden oluşmuştur. Tüm karbonat kristallerinde basınç ikizi izlenmektedir.

#### *Kütahya Altıntaş Taşı*

Örnek, granoblastik dokulu mezo-makrokristalin karbonat kristallerinden oluşmuştur. Tüm kristallerde basınç ikizi mevcuttur. Ayrıca, eser miktarda kuvarsa rastlanılmıştır.

#### *Ender Muğla Beyazı*

Örnek, büyük çoğunlukla granoblastik, yer yer de heteroblastik dokulu mezo-makro kristalin karbonat minerallerinden oluşmuştur. Tüm karbonat kristallerinde basınç ikizi bulunmaktadır. Örnekte, eser miktarda silisifiye kayaç parçası bulunmaktadır.

#### *Reis Afyon Beyazı*

Örnek, heteroblastik dokulu, mezokristalin karbonat minerallerinden oluşmaktadır. Tüm karbonat kristallerinde basınç ikizi gelişmiştir.

Örneklere ait fiziko mekanik özellikler Çizelge 1'de sunulmaktadır.

### 1.2. Elektriksel Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada, tüm kesim işlemleri sürecinde tüketilen elektrik enerjisi değerlerini belirlemek için KYORITSU marka 6300 model taşınabilir bir güç analizörü kullanılmıştır (Şekil 1).

Güç analizörleri, bağlı buldukları sistemde elektriksel parametrelerin kontrolü, ölçümü ve izlenimi için kullanılırlar. Sistemdeki her bir enerji bileşenini ölçebilirler. Değişik zaman ve şartlarda ölçülen değerler, analizörün ekranında anlık olarak görüntülenebildiği gibi, sistem içerisinde kaydedilerek, bilgisayar ortamında da değerlendirilebilir.

Çizelge 1. Çalışmada Kullanılan Doğal Taşlara Ait Bazı Fiziko-Mekanik Özellikler.

Taşın Ticari İsmi	$\sigma_c$ (MPa)	BS (MPa)	SH (MPa)	$N_R$	$A_b$ (%)	$\rho_b$ (g/mm <sup>3</sup> )
Ender Afyon Şeker	61.91 ( $\pm 15.57$ )	22.65 ( $\pm 2.91$ )	46.50 ( $\pm 3.26$ )	60.50 ( $\pm 0.71$ )	0.07 ( $\pm 0.01$ )	2.71 ( $\pm 0.000$ )
Özsaç Uşak Taşı	55.63 ( $\pm 8.59$ )	19.47 ( $\pm 1.76$ )	41.10 ( $\pm 2.62$ )	63.10 ( $\pm 0.74$ )	0.02 ( $\pm 0.01$ )	2.70 ( $\pm 0.002$ )
Kütahya Altıntaş Taşı	124.35 ( $\pm 9.69$ )	21.59 ( $\pm 2.37$ )	44.20 ( $\pm 2.98$ )	62.90 ( $\pm 1.20$ )	0.01 ( $\pm 0.01$ )	2.71 ( $\pm 0.003$ )
Ender Muğla Beyazı	63.21 ( $\pm 10.42$ )	9.44 ( $\pm 0.94$ )	31.75 ( $\pm 4.64$ )	62.10 ( $\pm 0.88$ )	0.05 ( $\pm 0.01$ )	2.71 ( $\pm 0.002$ )
Reis Afyon Beyazı	75.62 ( $\pm 13.89$ )	13.15 ( $\pm 1.20$ )	32.95 ( $\pm 3.07$ )	60.80 ( $\pm 3.26$ )	0.01 ( $\pm 0.00$ )	2.71 ( $\pm 0.005$ )

$\sigma_c$ : Tek eksenli basınç dayanımı, BS: Eğilme dayanımı, SH: Shore sertliği,  $N_R$ : Schmidt çekici sertlik değeri,  $A_b$ : Ağırlıkça su emme,  $\rho_b$ : Görünür yoğunluk birimi gr/cm<sup>3</sup>

Şekil 1. Kyoritsu 6300 taşınabilir güç analizörü.



Güç analizörleri, çok fazlı sistemlerde var olan her faz için ayrı ayrı; akım, gerilim, aktif, reaktif ve görünür güç değerlerini de ölçebilir. Güç analizörleri genel olarak, seyyar ve sabit olmak üzere iki gruba ayrılır. Sabit tipler sistemdeki elektrik panolarına monte edilerek kullanılabilir. Seyyar modeller ise taşınabilir özelliklerinden dolayı, farklı yer ve noktalarda ölçüm yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, blok kesici ST'lerden elektriksel verilerin ölçülmesi için kullanılan Kyoritsu 6300 taşınabilir güç analizörüne

ait teknik veriler Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Güç analizörlerinde, enerji kaynağından yüklemeye noktasına giden akım değerleri akım sensörleri yardımıyla ölçülür. Akım sensörleri güç ileten kablolarla bağlanarak kablolardan geçen akım değerlerinin ölçülmesinde kullanılır. Bu çalışmada kullanılan akım sensörlerine ait teknik veriler Çizelge 3'de sunulmaktadır. Akım sensörleri blok kesici ST'lerin elektrik panosuna dikey testereye enerji gönderen hat üzerine yerleştirilmiştir.

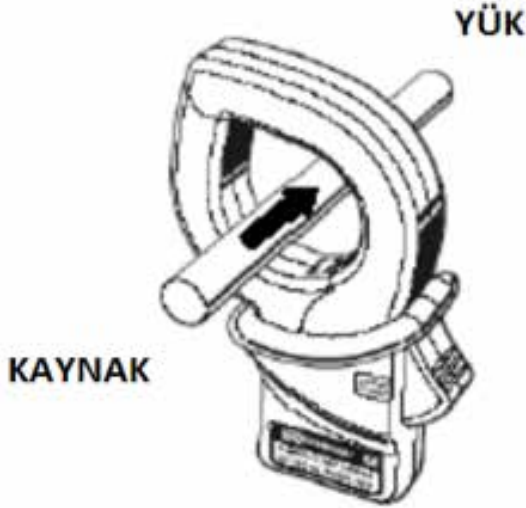
Çizelge 2. Kyoritsu 6300 Güç Analizörü Teknik Verileri (Kyoritsu, 2008).

Teknik Özellikler	
Ölçümler ve Parametreler	Voltaj, Akım, Aktif Güç, Görünür Güç, Reaktif Güç, Aktif Enerji, Görünür Enerji, Reaktif Enerji, Güç Faktörü (CosØ), Nötr akım, Frekansmetre
Elektrik Tertibatı Bağlantıları	1P 2W, 3P 4W, 3P 3W, 1P 3W
Voltaj Kademeleri	150.0/300.0/600.0V AC TRMS
Voltaj Doğruluğu	$\pm 0.3\%rdg \pm 0.2\%fs$ (45~66Hz)
Akım Kademeleri	50.00/100.0/200.0/500.0 A AC TRMS
Akım Doğruluğu	$\pm 0.3\%rdg \pm 0.2\% fs$ + Kelepçe akım sensörü doğruluğu (45~66 Hz'de)
Frekansmetre Kademeleri	40~70Hz
Frekansmetre Doğruluğu	$\pm 3dgt$
Aktif Güç Doğruluğu	$\pm 0.5\%rdg \pm 0.2\% fs$ + Klamp adaptörü Doğruluğu (45~66 Hz 'de)
Ekran Güncelleme Periyodu	1 saniye
Aşırı Yükleme Koruması	Voltaj: 720V AC TRMS Akım: 600A AC TRMS (Klamp Adaptörü 8125)
PC İletişim Arayüzü	USB
Güç Kaynağı	AC Line: 100~240V $\pm 10\%$ (50/60Hz) DC Pil 9V:LR6 $\times 6$
Güç Tüketimi	10VA (MAX)
Boyutlar	Yaklaşık 175 $\times$ 120 $\times$ 65 mm

Çizelge 3. KEW 8125 Kelepçe Akım Sensörüne Ait Teknik Veriler (Kyoritsu, 2008).

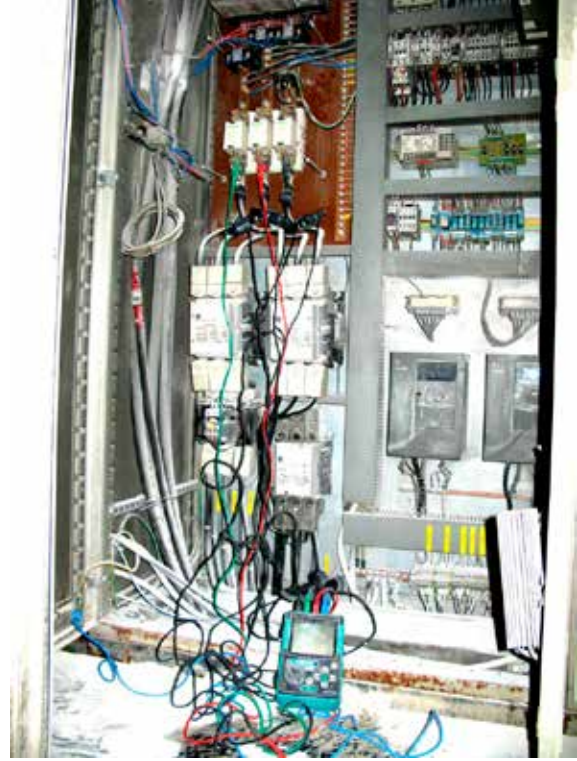
Ölçüm Kademesi	AC 0 ~ 500A
Çıkış Voltajı	AC 0 ~ 500mV
Doğruluk	$\pm 0.5\%rdg \pm 0.1mV$ (45~60Hz)
Faz Değişimi	$\pm 1^\circ$ den az
Frekans Cevabı	40 Hz ~ 1000 Hz
Çıkış Empedansı	Yaklaşık 2W
İletken Boyutu	Yaklaşık çapı maks. 40 mm
Boyut ve Ağırlık	Yaklaşık 128×81×36 mm, Yaklaşık 260g
Kablo Uzunluğu	Yaklaşık. 3 m
Çıkış konektörü	Mini Din 6 Pin

Akım sensörlerinin yerleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus kelepçe akım sensörünün, enerji kaynağından yük çekim tarafına doğru yerleşiminin sağlanmasıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Kelepçe akım sensörünün elektrik hattına yerleşimi.

Bu çalışmada ölçüm kapasitesi 500 amper olan üç adet KEW 8125 kelepçe akım sensörü kullanılmıştır. Sensörler dikey testereye enerji gönderen üç faza bağlanmıştır. Anlık akım değerleri üç adet akım sensörü yardımıyla ölçülürken, enerji hattındaki gerilim değerleri de üç faz, bir nötr olmak üzere dört adet gerilim krokodili yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen veriler güç analizöründe toplanarak harici hafıza kartına kaydedilmiştir. Hafıza kartındaki veriler bir ara yüz programıyla bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan güç analizörü, söz konusu işletmelerde blok kesici ST'lerin elektrik panosunun içine dikey kesim testeresine elektrik gönderen nakil hattına yerleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Güç analizörünün blok kesici ST elektrik panosuna bağlantısı.

Blok kesici ST blok boyunca kesim yaparken, işletme koşullarına göre 3-4 kesim süresince, akım problemleri ve gerilim krokodilleri bağlantısı ile kesim esnasında ve öncesinde, eş zamanlı olarak elektriksel veriler kaydedilmiştir. Güç analizörü ile kesim sürecindeki; her bir fazdaki potansiyel farkı (V), akım (A), aktif güç değeri (P), güç faktörü (PF) gibi elektriksel parametreler, bir bilgisayar aracılığı ile analiz edilmek üzere kaydedilmiştir.

### 3. VERİLERİN ANALİZİ

Elde edilen verileri değerlendirmek amacıyla kesim döngüsünün her bir adımı ayrı ayrı ele alınmıştır.

Blok kesici ST'ler ile doğal taş kesme işleminde dikey testerenin tam bir kesim döngüsü altı aşamada gerçekleşir:

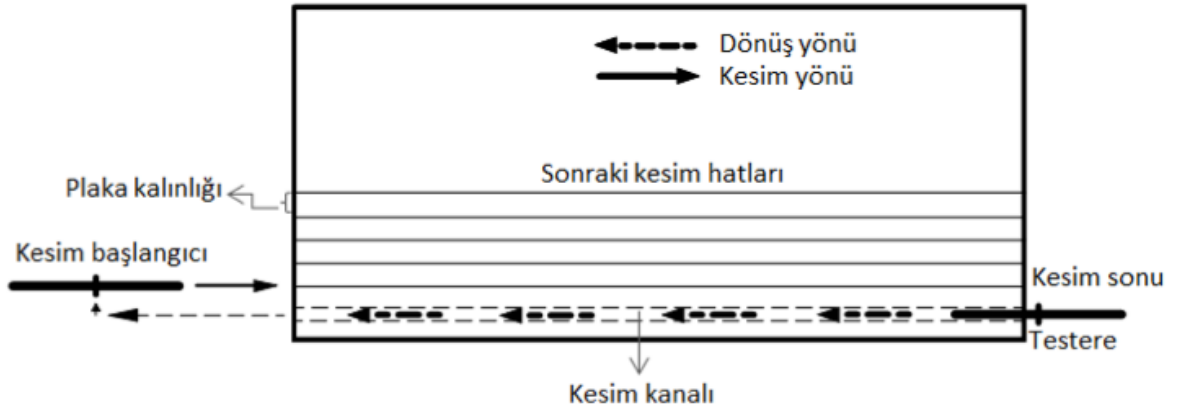
1. Testerenin kesim hattı başına yerleşmesi (sayma)
2. Hat başından bloğa temas edene kadar ilerleme (boş gidiş)
3. Bloğa temas ve testerenin tam kesme derinliği kadar blok içine girmesi (giriş)

4. Blok uzunluğu süresince tam kesim
5. Testerenin bloktan çıkmaya başlaması ve testere yarı çapı kadar bloktan çıkış
6. Kesim yapmadan kesim hattından geri dönme ve bir sonraki kesim hattına geçiş (boş geri dönüş) (Şekil 4).

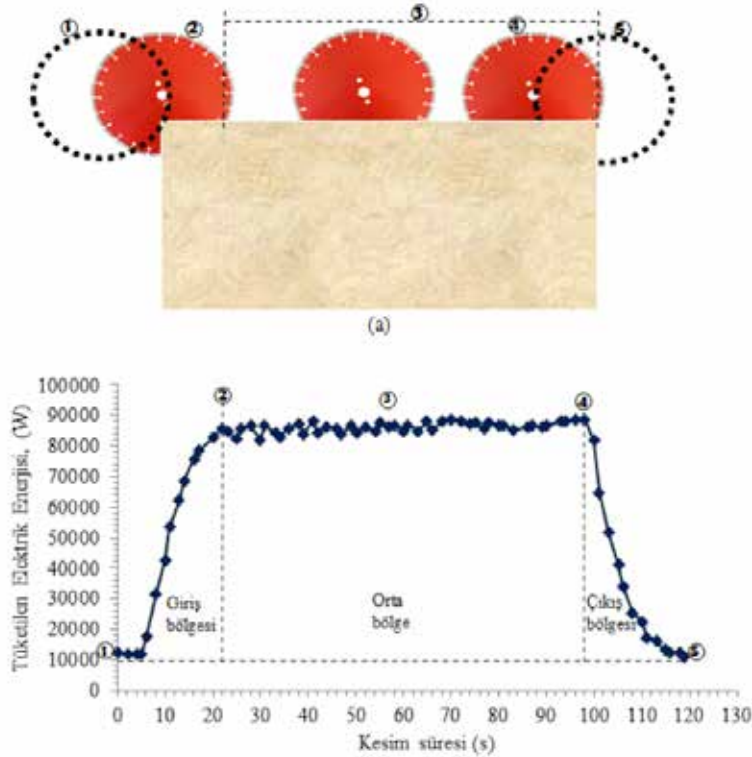
Genel olarak, testerenin bloğa ilk temas anından tam kesim durumuna geçene kadarki enerji tüketim değerleri artış eğiliminde (Şekil 5b, 1-2 no'lu konumlar), testerenin taştan çıkmaya başlayıp, kesimin bitip testerenin geri dönüş yaptığı ana kadar olan enerji tüketim değerleri de azal-

ma eğilimindedir (Şekil 5b, 4-5 no'lu konumlar). Bu iki bölge arasında kalan enerji tüketim değerleri de düz bir hat üzerinde değişken yapıdadır (Şekil 5a, 3 no'lu bölge).

Bu çalışmada, doğal taş sektöründe ticareti yapılan beş farklı mermerin kesiminde kullanılan blok kesici ST'lerden elde edilen endüstriyel kesim verileri değerlendirilmiştir. Kesimde kullanılan blok kesici ST'ler dört ayaklıdır. Motor güçleri 90 kW ile 132 kW arasında, testere çapları ise 1000-1750 mm arasında değişmektedir. Doğal taş işleme tesislerinden elde edilen kesimlere ait veriler Çizelge 4'de ayrıntıları ile verilmektedir.



Şekil 4. Blok kesici ST'lerde dikey testere kesim döngüsü üst görünüş



Şekil 5. Blok içerisinde testerenin ilerleyişi (a) ve tüketilen elektrik enerjisi-zaman eğrisi (b) (Blok kodu M2).

Çizelge 4. Kesimi Yapılan Doğal Taşlar Ve Kesim Koşullarına Ait Veriler.

Kod	Mermerin Ticari İsmi	Testere Çapı (mm)	d (mm)	$V_f$ (m/min)	$P_M$ (kW)	L (cm)	$P_0$ (W)	$P_F$ (W)	$P_A$ (W)
M1	Ender Afyon Şeker	1600	650	0.47	110	273	10583	60783	49807
M2	Özsaç Uşak Taşı	1400	250	1.68	132	311	12143	87153	74418
M3	Özsaç Uşak Taşı	1200	300	1.42	90	227	4995	56967	47178
M4	Kütahya Altıntaş Taşı	1750	480	0.43	132	200	7819	49971	39581
M5	Kütahya Altıntaş Taşı	1750	480	0.47	132	200	7819	52701	41422
M6	Kütahya Altıntaş Taşı	1750	480	0.51	132	200	7819	56862	45733
M7	Ender Muğla Beyazı	1600	350	1.02	110	194	8890	65365	50183
M8	Ender Muğla Beyazı	1600	350	0.95	110	194	8890	64866	48992
M9	Reis Afyon Beyazı	1750	650	0.58	132	294	9523	60986	46184
M10	Reis Afyon Beyazı	1750	650	0.59	132	294	9523	62054	46222

d: Kesme derinliği,  $V_f$ : İlerleme hızı,  $P_M$ : Blok kesici ST motor gücü (kW), L: Kesim uzunluğu,  $P_0$ : Boşta enerji tüketim,  $P_F$ : Tam kesim derinliğinde tüketilen ortalama enerji,  $P_A$ : Tüm kesim süresince ortalama enerji tüketimi.

Doğal taş işleme tesislerinde kullanılmakta olan blok kesici ST'lerde, kesimler süresince yapılan çok sayıda elektrik enerjisi tüketim değerleri ölçümleri sonucunda, dikey testere enerji tüketim sürecinin tek bir karakteristik yapıda olmadığı belirlenmiştir.

Ölçümler grafiksel olarak incelendiğinde, tüm verilerde genel anlamda üç farklı enerji tüketim bölgesi tespit edilmiştir (Şekil 5). Bunlar; giriş bölgesi, orta bölge ve çıkış bölgesidir. Enerji tüketim bölgeleri şöyle tanımlanabilir:

- i- Testerenin bloğa ilk temas anı ile tam kesme derinliği durumuna geçiş arasında kalan bölge (*giriş bölgesi*)
- ii- Testerenin tam kesme durumuna geçtiği an (giriş bölgesi sonu) ile bloktan ilk soketin çıkmaya başladığı nokta arasında kalan bölge (*orta bölge*)
- iii- Testerenin bloktan çıkmaya başladığı andan kesimin tamamlanıp geri dönüşe geçilen noktaya kadarki bölge (*çıkış bölgesi*)

Giriş bölgesinde testere bloğa ilk temas halinden itibaren, boşta harcadığı enerjisi de kesime aktararak kesime başlar. Soketlerin bloğa ilk temas ettiği noktadan itibaren, testere yarıçapından daha az bir mesafede testere tam kesme durumuna geçmiştir olur. Giriş bölgesi testere merkezi ile blok eksenin kesiştiği noktada sonlanır.

Teğetsel olarak ilk soketin blokla temasından, testerenin tam kesme durumuna geçtiği, yani maksimum sayıda soketin kesim için blokla temas ettiği bölgede (giriş bölgesi), enerji değerleri kuadratik olarak artış eğilimindedir (Şekil 6a).

Giriş bölgesinin sonunda, seçilen kesme derinliğine ulaşılmasıyla birlikte kesim yapan soket sayısı da maksimum olur. Maksimum sayıda soketin blokla temas etmesiyle testereye gelen kuvvetler de maksimum olur ve dolayısıyla enerji miktarı da en yüksek tüketim aralığına ulaşır.

Bu çalışmadan elde edilen verilerle, beş farklı doğal taş örneğine ait "giriş bölgesi" enerji dağılım eğrilerine ait örnekler ve bu eğrilere ait denklemler Şekil 6b'de gösterilmektedir.

Tüm çalışmada giriş, orta ve çıkış bölgesine ait kayıtlı verilerden sadece seçilen bir tanesine ait örnek grafikler sunulmuştur. Diğer eğriler farklı rakamlarla aynı karakteristik yapıda olup, birbirine çok yakın değerlerde çakışmaktadırlar.

Şekil 6'dan da görüldüğü gibi giriş bölgesindeki enerji tüketim miktarları-zaman eğrisi, ikinci dereceden polinom fonksiyon eğrisi şeklindedir. Eğriler genelleştirilecek olursa denklem, Eşitlik 1'de gösterildiği gibidir.

$$f(x) = -ax^2 + bx + c \quad (1)$$

Orta bölgede testere tam kesme derinliğinde olduğu ve testere salınımı da minimuma indiği için enerji değişim aralığı görece daha azdır. Orta



bölgede elektrik enerjisi tüketim değerleri değişimi yatay bir hat şeklindedir. Orta bölgede enerji tüketim değerlerine ait detaylar Şekil 7'de gösterilmektedir.

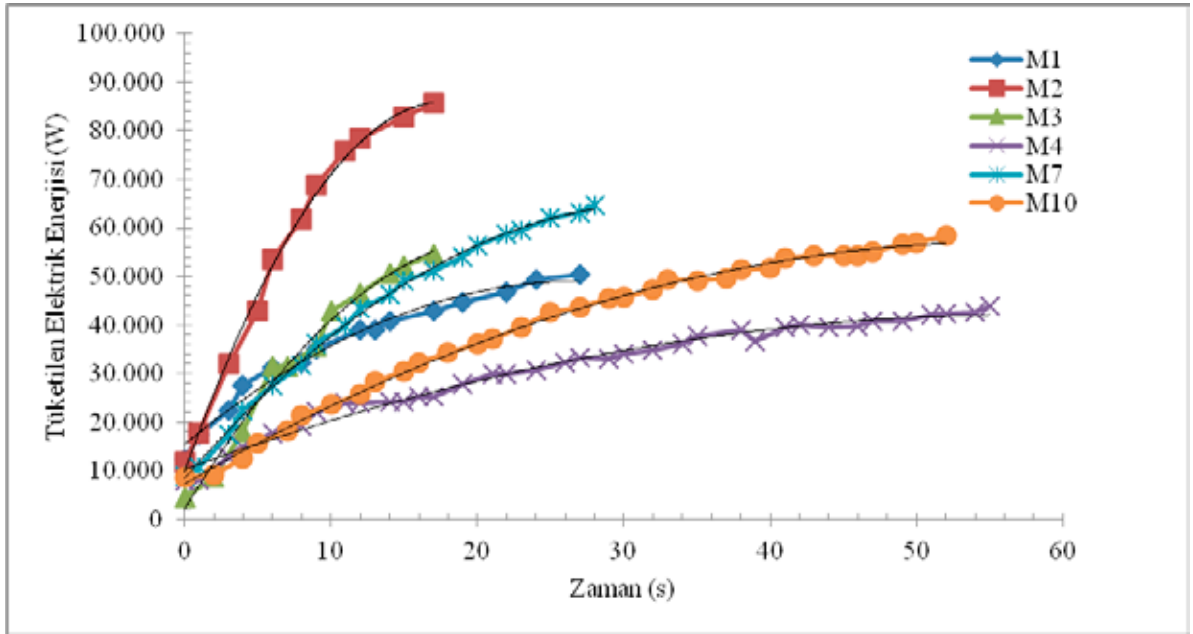
Çıkış bölgesi, teğetsel olarak ilk soketin kesim hattının sonunda bloktan çıkmaya başlaması ile başlar ve testerenin kesim hattından kesim yapmadan (boş) geri dönüşe geçtiği anda biter. Çıkış bölgesinde, söz konusu kesim hattı üzerindeki kesme işlemi sona erer. İlk soketin bloktan dışarı çıkmaya başlaması ile birlikte testere üzerine gelen kuvvetler azalacağından tüketilen elektrik enerjisi de azalmaya başlar. Testerenin

kesim hattından çıkmaya başlamasıyla birlikte enerji miktarı kuadratik olarak azalır.

Çalışmaya konu olan doğal taşlara ait çıkış bölgesi örnek kesim eğrileri ve denklemleri Şekil 8'de sunulmaktadır.

Çıkış bölgesinde elektrik enerjisi tüketim değerleri dağılımı, ikinci dereceden polinom fonksiyon eğrisi şeklindedir. Denklem genelleştirilecek olursa, çıkış bölgesindeki enerji değişim değerleri Eşitlik 2'deki gibi ifade edilebilir.

$$f(x) = ax^2 - bx + c \quad (2)$$



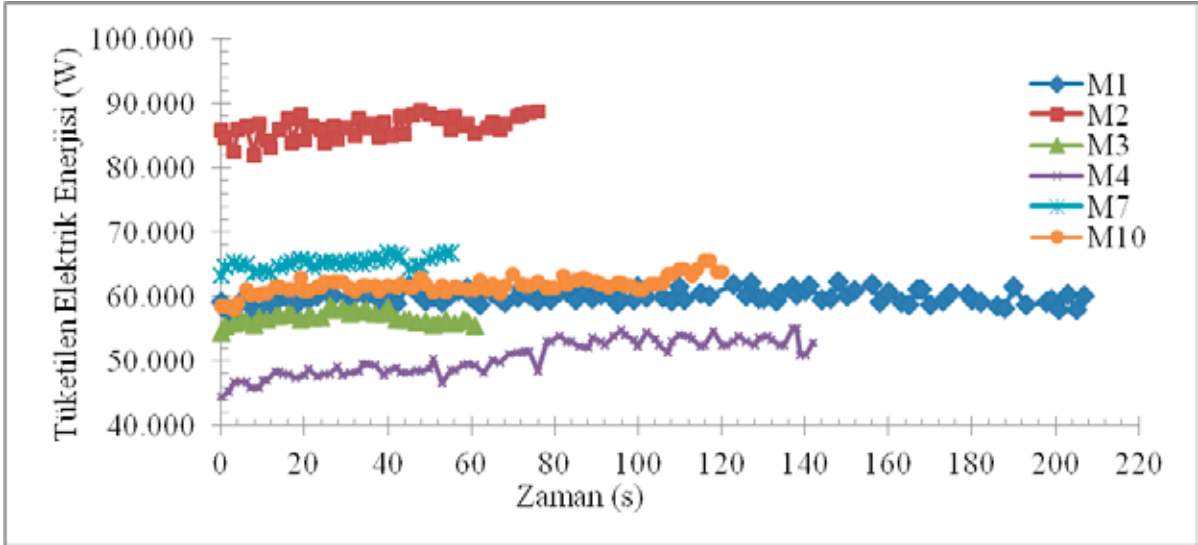
(a)

Blok Kodu	Mermerin Ticari Adı	Denklem (Regresyon eğri türü: polinom)	R <sup>2</sup>
M1	Ender Afyon Şeker	$y = -46.1x^2 + 2490x + 15397$	0.981
M2	Özsaç Uşak Taşı	$y = -235.4x^2 + 8484x + 9720$	0.996
M3	Özsaç Uşak Taşı	$y = -109.3x^2 + 4985x + 2028$	0.986
M4	Kütahya Altıntaş	$y = -9.5x^2 + 1103x + 10177$	0.984
M7	Ender Muğla Beyazı	$y = -52.3x^2 + 3447x + 8403$	0.999
M10	Reis Afyon Beyazı	$y = -15.4x^2 + 1755x + 7250$	0.997

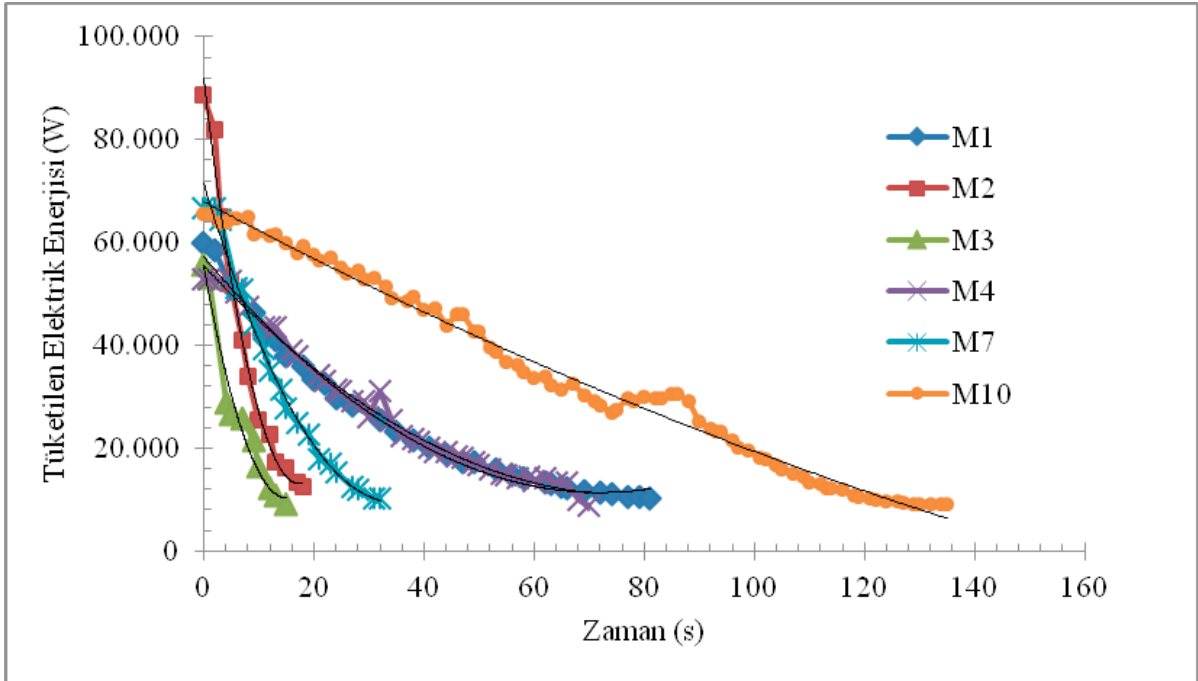
(b)

Şekil 6. Giriş bölgesi zamana bağlı enerji değişim değerleri eğrisel ilişkileri (a) ve regresyon denklemleri (b).





Şekil 7. Orta bölge elektrik enerjisi tüketim değerleri.



(a)

Blok Kodu	Mermerin Ticari Adı	Denklem (Regresyon türü: polinom)	R <sup>2</sup>
M1	Ender Afyon Şeker	$y = 8.9x^2 - 1276.9x + 57214$	0.992
M2	Özsaç Uşak Taşı	$y = 265.3 - 9143.3x + 91916$	0.990
M3	Özsaç Uşak Taşı	$y = 199.1x^2 - 5996.2x + 55439$	0.966
M4	Kütahya Altıntaş	$y = 7.3x^2 - 1139.5x + 55464$	0.990
M7	Ender Muğla Beyazı	$y = 51.6x^2 - 3578.8x + 71505$	0.993
M10	Reis Afyon Beyazı	$y = 0.8x^2 - 570.7x + 67935$	0.989

(b)

Şekil 8. Çıkış bölgesi zamana bağlı enerji değişim değerleri eğrisel ilişkileri (a) ve regresyon denklemleri (b).

Diğer şartlar aynı kalmak koşulu ile ilerleme hızının büyüklüğü, testere çapı ve kesme derinliği çıkış bölgesindeki enerji tüketim miktarını değiştirir.

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Blok kesici ST'lerle doğal taş kesiminde kesim performansını değerlendirmek için kesilen blok ile segment yüzeyi-makine etkileşiminin irdelenmesi önemlidir. Uygulamada bu etkileşimin en önemli göstergeleri de elektrik enerjisi tüketim değerleri ve uzun vadede testere aşınması-kesilen miktar arasındaki ilişkidir.

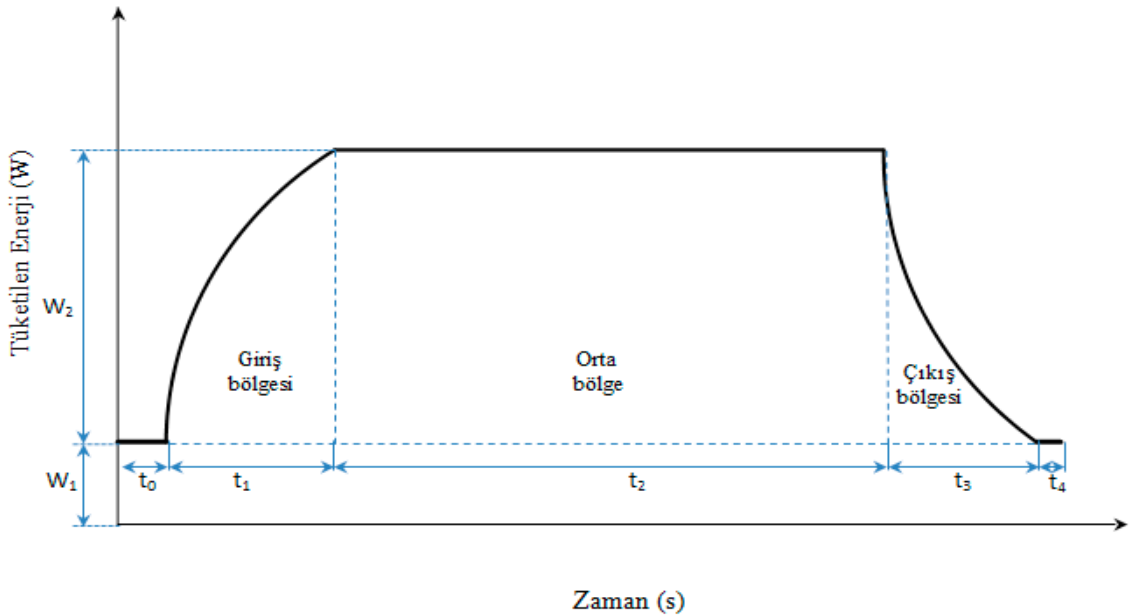
Bu çalışmada doğal taş kesme işlerinde kullanılan blok kesici ST'lerle gerçek mermerlerin kesimi esnasında bir kesim döngüsü boyunca, kesme işlemi için enerji tüketim değerleri ölçülmüştür. Kesim boyunca tüketilen elektrik enerjisi değerleri için endüstriyel anlamda bir model eğri ortaya konmuştur (Şekil 9). Bu model eğri, genel karakteristik bir eğri olup, testereyle birlikte blok kesici ST'nin çalışma parametrelerine ve kesilen bloğun özelliklerine bağlı olarak değerlerde farklılık gösterebilir. Ancak enerji tüketim eğrisi her durumda Şekil 9'daki gibi bir formda elde edilir.

Önerilen model eğri; giriş bölgesi, orta bölge ve çıkış bölgesi olmak üzere üç ana bölgede ele alınmıştır.

Testerenin kesim yapmadan kesme hattı başında beklediği süre ile bloğa temas edene kadar geçen süre boşta bekleme süresi ( $t_0$ )'dır. İlerleme hızından daha yüksek bir hız ile testere bloğa doğru ilerler ve pratikte bloğa 15-20 cm mesafede yavaşlayarak bloğa girer. Kesilecek dilim başında testerenin bekleyeceği, bloğa girmek için yavaşlayacağı mesafe blok kesici ST kolonları üzerine yerleştirilmiş switch şalterleri (limit svicileri) ile ya da operatör tarafından belirlenir. Boşta bekleme süresinde tüketilen enerji değerleri de, genellikle üç vardiya halinde kesintisiz çalışan blok kesici ST'lerde üretim maliyetleri üzerinde rol oynar. " $t_0$ " anında tüketilen enerji değeri " $W_1$ " ile ifade edilir ve blok kesici dikey testeresi motorunun boşta tükettiği enerji değeridir.

Ana faktör olarak motor gücüne ve yan faktörler olarak da testerenin çapı ve ağırlığına, enerji hattındaki gerilim dalgalanmalarına, testerede gövdesindeki salınımına bağlı olarak değişir. Testerenin blokla ilk teması ile birlikte enerji değerleri ikinci dereceden polinom fonksiyon eğrisi tanımına uygun olarak artmaya başlar.

Bu bölge "giriş bölgesi" olarak adlandırılmıştır (Şekil 9). Giriş bölgesinde, testere blokla tam kesme derinliği kadar temas ettiğinde, tüketilen elektrik enerjisi değeri " $W_2$ " ile gösterilmiştir. Testerenin, belirlenen kesme derinliğine ulaşmasına kadar geçen süre ise " $t_1$ " ile gösterilmiştir. " $t_1$ " sü-



Şekil 9. Blok kesici ST ile doğal taş kesiminde tüketilen enerji-zaman model eğrisi.

resi ilerleme hızının ve testere çapının bir fonksiyonudur.

" $W_2$ " enerji değerinin artışı, testerenin blokla kesme derinliği kadar temas haline geçmesiyle (orta bölge) sona erer ve kesme hattı boyunca kesilen bloğun fiziko-mekanik özelliklerine göre görece küçük dalgalanmalar gösterir. " $t_2$ " süresi ilerleme hızının, blok uzunluğunun ve testere çapının bir fonksiyonudur.

İlk socketin bloktan dışarı çıkmasıyla birlikte, testere "çıkış bölgesine" geçer (Şekil 9). Testerenin bloktan çıkmaya başlaması ile birlikte tüketilen enerji miktarı hızlıca azalmaya başlar. Çıkış bölgesinde, testere yarıçapından operatör tecrübesine göre 5-10 cm ileride bir mesafede testere kesimi tamamlar ve dönüşe geçer. " $t_3$ " süresi, çıkış bölgesinde geçen süredir. " $t_4$ " süresi ise operatör becerisine göre sifıra yaklaşabilir. Tanım olarak kesim yapılmadan geçen, geri dönüş manevrasına kadar harcanan süredir.

Blok kesici ST'lerle yapılan doğal taş kesme işlemlerinde kesme performansının önemli göstergelerinden birisi de özgül kesme enerjisidir. Özgül kesme enerjisinin doğru ya da yeteri kadar hassasiyetle hesaplanabilmesi için blok kesici ST elektrik tüketim sürecinin iyi anlaşılması gereklidir.

Doğal taş işleme proseslerinde blok kesici ST'lerle yapılan kesim işlemlerinde, tüm kesim sürecinin doğru değerlendirilebilmesi için testerenin bir döngüsü iyi analiz edilmelidir. Kesim için harcanan toplam enerjinin de titizlikle hesaplanması, net kesim maliyetlerinin doğru hesaplanması için gereklidir. Testerenin boşta çalıştığı bekleme süreleri ve dönüş süreleri mümkün olduğu kadar azaltılarak çalışma verimi ve dolayısıyla maliyetler azaltılabilir.

Bir doğal taş işleme tesisinde blok kesici ST'lerle yürütülen kesme işlemlerinde geri kalan tüm süreç blok kesicinin performansından etkilenir. Bu nedenle blok kesici ST'lerdeki kesme verimi tüm süreci etkilediği için, tüm maliyetlerin hesaplanmasında da önemli bir parametre olarak değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada önerilen model eğri, prizmatik ya da kübik formda, düzgün şekilli ve yüzey taraması yapılmış blokların kesimi işlemlerinde geçerlidir.

## KAYNAKLAR

Büyüksağış, İ.S., 1998. Dairesel Testereli Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin Kesilebilirlik Analizler. *Doktora Tezi*. Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Çınar, S.M., 2007. Mermer Kesme Makinelerinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.

Dusun, M., Çimen, H., 2010. Eviricili ve Eviricisiz Mermer Kesme İşleminin Elektrik Enerjisi Üzerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 25, No 2, 381-388.

Folk, R.L., 1962. Spectral subdivision of limestone types, in W.E. Ham (Ed.). *Classification of Carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir*. Tulsa, pp. 62-84.

Jennings, M., Wright, D., 1989. Guidelines for sawing stone. *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 70-75.

Kılıç, A.M., Karakuş, A., Keskin, M.Ö. 2003. Diyarbakır Yöresi Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri-Özgül Enerji İlişkisi, *MERSEM 2003 Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık, 159-171, Afyon, (2003).

Konstanty, J., 2002. Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of Materials Processing Technology*, 123, 146-154.

Kyoritsu, Ekipman Kataloğu, 2008.

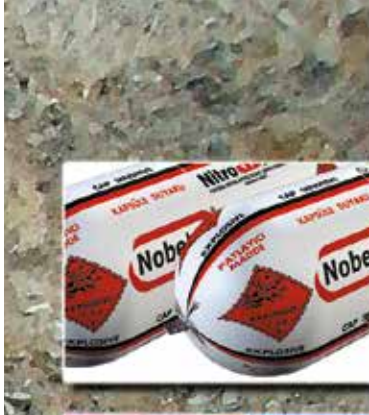
Özçelik, Y., Polat, E., Bayram, F., Ay, A.M. 2004. Investigation of the effects of textural properties on marble cutting with diamond wire, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. v 41, p. 1B 06 1-7.

Şengün, N., Altındağ, R., Koçcaz, C.E., 2009. Isparta Yöresinde Bulunan Bazı Mağmatik Kökenli Kayaçların Kesilebilirlik Analizi. *DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 11, s.22-31.

Xu, X., 2000. Prevailing mechanisms for circular sawing of granites with diamond impregnated segments. *Materials and Manufacturing Processes*, 15: 123-128.

Yu, Y.Q., Xu, X.P., 2003. Improvement of the Performance of Diamond Segments for Rock Sawing, Part 1: Effects of Segment Components. *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp 46-53.

Yurdakul, M., 2009. Karbonat Kökenli Doğal Taşların Yapay Sinir Ağları ile Kesilebilirlik Tayini. *Doktora Tezi*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.



**Nobelex**<sup>®</sup>

Kapsüle ve  
yemlemeye duyarlı,  
emulsiyon patlayıcı



**NONELDET**<sup>®</sup>

Elektriksiz kapsül



**ANFONIT**<sup>®</sup>

(ANFO) Yemlemeye  
duyarlı,  
patlayabilir  
karışımlar



*Delme ve  
Patlatma  
Hizmetlerinde  
Güven*



**NitroMakdnx**<sup>®</sup>  
K İ M Y A S A N A Y İ İ A . Ş .

Cinnah Caddesi Pilot Sokak No: 17 06690 Çankaya - ANKARA/TÜRKİYE  
Tel: +90.312. 440 53 17 (pbx) Fax: +90.312. 440 61 59  
www.nitromakdnx.com nitromakdnx@nitromakdnx.com

www.bellek.com.tr

