

## ELEKTRİKLİ YERKAZI MAKİNALARINDA ÖZGÜL ENERJİ TÜKETİMİ ve KAZI ZORLUĞU SINIFLAMASI

Specific Energy Consumption and Excavating Difficulty Classification of Electrical Earth  
Moving Equipment

Metin ÖZDOĞAN(\*)

### OZET

Bu yazıda elektrikli yer kazı makinalarının enerji tüketimi, kazı zorluğu yönünden incelenmiş olup özgül kazı enerjisi ve diğer etkileyicileri tartışılmıştır. Makinaların, ana çalışma devinim dişli kutularını süren doğru akım motorlarının enerji tüketimlerini ölçme ve hesaplama ilkelerine değinilmiştir. Bazı Türk araştırmacılarca, linyit damarı üzerindeki örtü katmanlarında oluşturulan gevşetilmiş basamaklarda çalışan elektrikli yer kazı makinaları için önerilmiş olan kazı zorluğu sınıflamaları bazı örneklerle birlikte sunulmuştur. Ayrıca, bazı elektrikli yer kazı makinalarının çalışma döngüsü ve kazı evresinin enerji tüketim bileşenleri örnekleri de bu araştırmacıların bulgularına dayanarak verilmiştir.

Anahtar Sözcükler Elektrikli Yer kazı Makinaları, Özgül Kazı Enerjisi, Kazı Zorluğu Sınıflaması

### ABSTRACT

In this paper, energy consumption of electrical earthmoving equipment is investigated from excavating difficulty point of view, and specific energy and the other parameters are discussed. The principles of measuring and calculating energy consumption of direct current motors which drive main operating motion gearboxes of equipment are given. Some excavating difficulty classifications proposed by some Turkish researchers for electrical earthmoving equipment operating at blasted lignite overburden benches are presented with some examples. Energy consumption components of working cycle and dig phase are also given based on the findings of the same researchers for some earthmoving equipment.

Keywords : Electrical Earthmoving Equipment, Specific Digging Energy, Excavating Difficulty Classification

\* Dr. Maden Yüksek Mühendisi, Danışman, ideal Makina Danışmanlık Ltd.Şti., Esat Cad. No.34/9, 06660, ANKARA

## 1. GİRİŞ

Çalışma döngüsü süresinin ve makinanın ana devinim motorları olan doğru akım motorlarının başarımlarının (performans), diğer bir deyişle voltaj ve akımının izlenmesi, makina başarımını izlemenin bir yoludur. Yerkazı makinasının, basamakta karşılaştığı kazı zorluğu ve bunun değişiminin izlenmesi bakımından doğru akım motorlarının armatür akım değerleri torku, armatür voltaj değerleri ise hızı temsil eder. Örneğin, dragline'nin malzeme koparış ve kepçe dolduruluş işlevini gerçekleştiren çektiriş (drag) motoru ele alınsın. Bu motorun bir anış gücü ve taşıyabileceği bir sınır voltaj ve akım değeri vardır. Bu sınır voltaj ve akım değerlerinin çarpımı doğru akım motorunun güç eşitliğini verir ki bu da motorun gücünün sınırını belirler. Kepçe, kazı sırasında sert bir kesimle karşılaştığında motorun voltajı düşer ve çektiği akım artar. Bir başka deyişle, kazarken zorlandığında kazı hızı yavaşlarken, kazı kuvveti artar. Bu suretle motor tasarlandığı güç sınırları içinde kalabilir. Doğru akım motorunun bu özelliği sayesinde, motorun armatür (motorun dönen kısmı) akım ve voltaj değerleri izlenerek, elektrikli makinaların kazı sırasında gösterdiği çabanın düzeyi dolaylı olarak saptanabilmektedir.

Elektrikli yerkazı makinalarının enerji tüketiminin dalgalı akım ana motorlarından da ölçülmesi olasıdır. Ancak, Dannel ve Mol ve (1990), Hendrics ve Scoble (1990), Hindistan (1997) ve Özdoğan (2002) bu yöntemi pek önermemektedir. Çünkü, dalgalı akım motorları kazı zorluğu değişikliklerine, doğru akım motorları kadar duyarlı değildir.

Bu ilkeden yola çıkarak, elektrikli yerkazı makinalarının basamakta, kazı döngüsü başına tükettikleri enerji miktarını hesaplayarak, kazı anında karşılaştıkları kazı zorluğu düzeyini izlemek ve değerlendirmek olasıdır.

Yeni kuşak elektrikli yerkazı makinalarında sayısal başarımların üretim izleyici ve işlemcileri genellikle makinalarla birlikte üretici tarafından standart donanım olarak verilmektedir. Hettinger ve Lumley, 1999, yazılarında bu veri izleme dizgelerine ve bilgisayarlarına değinerek, mühendislerin toplanan veri çokluğu içinde boğulduklarından söz edip bu izleme dizgeleri verilerinden yeterince yararlanamadığını belirtmektedir. Açık işletmelerimizde çalışan elektrikli yerkazı makinalarında henüz bu başarımların üretim izleme düzeneği donanımları bulunmamaktadır.

## 2. DOĞRU AKIM MOTORUNUN GÜÇ VE ENERJİ EŞİTLİĞİ

Doğru akım motorlarının akım ve voltaj ölçümleri, analog ya da sayısal kayıt aygıtlarıyla, kontrol panelinde her hareket için var olan test sinyali çıkış noktalarından, armatür voltaj ve akım geri besleme sinyalleri ve çalışma döngüsü süreleri kaydedilerek yapılabilmektedir. Bu sinyallerin değeri yerkazarlarda  $\pm 8$  VDC ile  $\pm 10$  VDC ve dragline'larda ise  $\pm 15$  VDC olmaktadır. Bu sinyallerin değerlerinden ve motorun durma noktası (stall) voltaj ve akım değerlerinden yararlanarak çalışma döngüsündeki gerçek voltaj ve akım değerlerini hesaplamak olasıdır. Örneğin, Page 736 dragline'nin doğru akım motorlarının durma noktası akım ve voltaj değerleri; çektiriş ve kaldırış motorları için armatür akım değeri  $I_{afb}=4840$  Amper, ve voltaj değeri  $V_{afb}=600$  VDC; döndürüş motoru için ise bu sınır değerler,  $I_{afb}=1100$  Amper, ve  $V_{afb}=600$  VDC dir. Armatür geri besleme akım ve voltaj sinyallerinin değerleri ise  $V_{a(bs)} = \pm 15$  VDC arasında değişmektedir. Ayrıca voltaj sinyallerinin değerlerinin (+) ya da (-) olmasından (polarité) devinin yönünü de algılamak olasıdır (Özdoğan, 2002).

Zaman-akım ve zaman-voltaj sinyal eğrilerinin altında kalan alanların ölçülmesi ya da hesaplanması ile motorların makina çalışma döngüsü süresince anlık, ortalama ve tepe akım değerleri ve voltaj değerleri hesaplanabilir. Bir doğru akım motorunun anlık gücü ( $P_i$ ), anlık armatür akımı ( $i$ ) ile anlık armatür voltajının ( $V$ ) çarpımına eşittir.

$$P_i = V_i \times i \quad (1)$$

$$V = J \cdot V_i \cdot d_t \quad (2)$$

$$I = J \cdot i \cdot d_t \quad (3)$$

Motor duruş sınırı akım ve voltaj değerleri ve sinyal özelliklerine göre gerçek değerler hesaplanır. Armatür akım ve voltaj değerleri bilindiğinde doğru akım motorunun tükettiği güç aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır:

$$P = V_{afb} \cdot I_{a(b)} / 1000 \quad (4)$$

Burada ;

$$P = \text{Güç, kW}$$

$$V_{afb} = \text{Armatür geri besleme voltajı, V}$$

$$I_{afb} = \text{Armatür geri besleme akımı, A, dir.}$$

Bir motorun enerji tüketimi bir zaman aralığında anlık gücün o zaman aralığına göre entegrali alınarak bulunabilir.

$$E_i = \int P dt = \int v i dt, \quad (5)$$

$$E = \int P dt, \quad (6)$$

Doğru akım motorunun tükettiği enerji aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E = P \times t / 3600 \quad (7)$$

Burada;

$$E = \text{Enerji, kWh,}$$

$$t = \text{Süre, s, dir.}$$

### 3. ÖZGÜL ENERJİ TÜKETİMİ VE KAZI ZORLUĞU DİZELEMESİ

#### 3.1. Özgül Enerji Kavramı

Özgül enerji ya da özgül kazı enerjisi, şimdiye kadar yapılan araştırmalarda, elektrikli açık ocak yer kazı makinaları için sıkça kullanılan bir kavram olup makinanın çalışma döngüsü başına kazılan kayacın birim hacmi ( $m^3$ ) için tükettiği enerji olarak tanımlanır, makinanın çalışırken karşılaştığı kazı zorluğunun bir göstergesi olarak kullanılır ve birimi kWh/ $m^3$  veya MJ/ $m^3$  olarak belirtilir. Özgül enerji, kayacın gevşetilmesine gerek olmadan doğrudan kazı yapan yeraltı kazı makinalarının ve döner kepçeli yer kazılarının kayacı kesme zorluğu göstergesi olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır (Bölükbaşı vd., 1991).

Özgül enerji, kayacın kabarmış ya da yerinde hacmi cinsinden hesaplanabilir. Kabarmış hacim cinsinden verilen değer, kayacın kabarma katsayısı ile çarpılarak yerinde hacim cinsinden değere çevrilebilir.

Özgül kazı enerjisi tüketimi kepçe büyüklüğüne göre indirgenmiş (normalize edilmiş, dengelenmiş) bir etkileyici (parametre) olduğundan değişik kapasitedeki makinaların karşılaştıkları kazı zorluğunu karşılaştırmada yararlı olmaktadır.

Tek bir makina söz konusu ise döngü başına tüketilen enerji, kWh/döngü, ya da döngü kazı evresinde tüketilen enerji, kWh/kazı/döngü, sonuçları değerlendirmede yeterli olabilmektedir, (Özdoğan, 2002).

#### 3.2. Kazı Zorluğu Sınıflaması

Basamak ve kayaç etkileyicileri kadar, makina etkileyicilerinin de makinanın kazı enerjisi tüketimini etkilediği bilinmektedir, (Özdoğan 2002; Erdem 1996). Bu yüzden, değişik kapasiteli birden çok makinanın enerji tüketim etkileyicilerinin karşılaştırılmasında bu nokta dikkate alınmalı ve indirgenmiş değerler kullanılmalıdır. Yoksa, yapılan karşılaştırmalar yanıltıcı olabilmektedir. Bunlar kepçe kapasitesine, çalışma döngüsü süresine, özgül makina gücüne göre yapılan düzeltmelerdir. Bu indirgenme işlemi makinaların kapasite, döngü ve diğer farklılıklarının enerji tüketimindeki etkisinin en aza düşürülmesi için yapılmaktadır.

Daha önce söz edildiği gibi, özgül kazı enerjisi tüketimi, dengelenmiş bir etkileyici olduğu için değişik kapasite ve özellikteki makinaların birbiriyle karşılaştırılmasında ve kazı zorluklarının sınıflandırılmasında kullanılabilirler. Young ve Hill (1986), özgül kazı enerjisinin makina çalışma döngüsü farklılıklarının etkisini azaltmak için döngü süresine göre de indirgenmesini önermekte ve bunun makina özelliği ve kazamak geometrisi etkilerinin giderilmesinde yararlı olduğunu belirtmektedirler. Buna göre indirgenmiş özgül kazı enerjisi birimi kWh/ $m^3/s$  olmaktadır. Yazarlar, bu değer tersine (kWh/ $m^3/s$ )<sup>-1</sup> ise kazı kolaylığı göstergesi adını vermektedirler. Young ve Hill (1986), bir diğer özgül kazı enerjisi kavramı olarak da, makina çalışma döngüsü süresine göre indirgenmiş enerji tüketimi kavramını önermekte, (birimi kWh/s) ve bu şekilde, makina çalışma döngüsü süreleri farklı olan yer kazılarının da karşılaştırılabileceğini belirtmektedirler.

Yukarıda açıklandığı gibi elektrikli yer kazı makinalarının özgül kazı enerjisi tüketimleri ve bu değerlerdeki değişimler, makinanın karşılaştığı kazı zorluğunun dolaylı bir göstergesi olarak kullanılabilir. Ancak, aşağıda belirtilen etkileyicilerin makinaların özgül enerji tüketimlerini değiştirebildiği bilinmelidir;

Yer kazı makinalarının özgül kazı enerjisi tüketimlerini, basamak yüksekliği ve geometrisi, basamaktaki kayacın kazılabilirliği, gevşetilme durumu ve birim ağırlığı, kazı derinliği, makinanın özellikleri, makinanın yaşı ve bakımlı olup olmadığı, operatörün becerisi, dönüş açısı, kepçe dolma faktörü, dragline'larda ise bunlara ek olarak, dilim eni, kazı derinliği ve uygulanan kazı yöntemi gibi özellikler etkilemektedir (Young

ve Hill, 1986; Humphreys ve Baldwin, 1994; Hendrics ve Scoble, 1990; Ceylanoğlu, 1991; Hindistan, 1997; Özdoğan, 2002).

Elektrikli yerkazarlarda basamaktaki kazı zorluğunu, gerçek kazı gücünü sağlayan kaldırış motorunun enerji tüketimi (kepçe doluş enerjisi) temsil etmektedir. Kepçe itiş (crowd) motoru ise kepçe saplanışını sağlayarak kepçenin, belirli bir kesme derinliğinde tutulmasına yarayan ikincil bir motordur (Hendrics ve Scoble, 1990; Hindistan, 1997). Oragline'larda ise aynada kazı zorluğunu çektirış motoru enerji tüketimi, özellikle çalışma döngüsünün kepçe doluş evresinde, temsil etmektedir (Humphreys ve Baldwin, 1994; özdoğan, 2002). Bu nedenle, kepçe doluş evresindeki (kazı evresi) enerji tüketiminin ölçülme olanağı varsa yeğlenmelidir. Çünkü, bu evredeki tüketim düzeyi karşılaşılan kazı zorluğunu daha iyi yansıtılmaktadır.

Bu konuda ülkemizde yapılmış bazı çalışmalara ilişkin aşağıda bilgi verilmiştir;

Ceylanoğlu (1991), Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) açık işletmelerinde çalışan çeşitli kapasitedeki (7,65 m<sup>3</sup>-19,13 m<sup>3</sup>) elektrikli yerkazarların, enerji tüketimleri konusunda bir çalışma yapmıştır. Ölçümler elektrikli yerkazarların dalgalı akım ana motorları üzerinden alınmıştır. Araştırmacı, kazı aynasında makinanın karşılaştığı kazı zorluğunu en iyi özgül kazı enerjisi etkileyicisinin yansıttığını belirtmiştir. Bu etkileyicinin değerlerine ve kendi gözlemlerine göre, gevşetilmiş marn örtükazı basamakları için kazı zorluğu dizelemesi önermiştir, (Çizelge 1). Bu dizelemede, özgül kazı enerjisi, kabarmış kayaç hacmine göre hesaplanmış olup ölçümlenen en küçük kepçeli makinaya göre indirgenmiş değerler kullanılmıştır. Araştırmacı, özgül kazı enerjisini

makinanın çalışma döngüsü üzerinden hesaplamıştır.

Ceylanoğlu, (1991)'nun enerji ölçümü yaptığı yerkazarların çalıştığı linyit ocaklarında, örtükazı basamaklarını oluşturan marnlı katmanların yerinde yoğunlukları 15,59 kN/m<sup>3</sup> ile 25,10 kN/m<sup>3</sup>, tek eksenli basınç dayanımları 2,1 MPa ile 103.8 MPa, katmanlaşma kalınlığı 0,30 m ile 1,50 m, ve özgül patlayıcı tüketimi ise ANFO cinsinden 1,29 N/m<sup>3</sup> ile 3,27 N/m<sup>3</sup> (0,132 kg/m<sup>3</sup>-0,333 kg/m<sup>3</sup>) arasında değişmektedir. Hesaplanan özgül kazı enerjisi değerleri ise 0,198 kWh/m<sup>3</sup> ile 0,565 kWh/m<sup>3</sup> arasındadır. Çalışma döngüsü değerleri, 7,65 m<sup>3</sup> kepçeli makinalar için ortalama 22 s - 34 s arasında, 11,48 m<sup>3</sup> kepçelilerde 24 s - 37 s arasında, 15,30 m<sup>3</sup> 'lük makinalarda 25 s- 33 s arasında, 19,13 m<sup>3</sup> lük makinalarda ise 28 s - 37,67 s arasında değişmektedir. Ortalama koşullarda 7,65 m<sup>3</sup> çalışma döngüsü 22 -30 s, 11-48 m<sup>3</sup> çalışma döngüsü 24-32 s, arasında alınabilir. Yüksek değerler Tınaz işletmesindeki kqnglomerali sert katmandan kaynaklanmaktadır. Makina dönüş açıları ortalama 90° dir.

Burov (2000), 25,50 kN/m<sup>3</sup> - 34,32 kN/m<sup>3</sup> (2,6 t/m<sup>3</sup>-3,5 t/m ) yoğunluklu (yerinde birim ağırlık) basamaklarda çalışan 5 m<sup>3</sup> kepçe kapasiteli Uralmash elektrikli yerkazarların 90° dönüş açılı çalışma döngüsündeki özgül kazı enerjisini 0,44 kWh/m<sup>3</sup> olarak vermektedir. Bu aralıkta, kayacın kepçenin koparışına karşı gösterdiği direncin 0,29 MPa - 0,41 MPa arasında değiştiğini belirtmektedir. Soma linyit işletmesinde çalışan Uralmash 3,8 m<sup>3</sup> kapasiteli elektrikli yerkazarda ölçülen ortalama özgül kazı enerjisi değeri ise 0,23 kWh/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur, yerinde hacim cinsinden değeri 0, 31 kWh/m<sup>3</sup>tür, (Ceylanoğlu, 1991).

Çizelge 1. Elektrikli Yerkazarlar için Kazabilirlik Sınıflaması (Ceylanoğlu, 1991)

Yerkazar Kepçe Kapasitesi, m <sup>3</sup>	Özgül Kazı Enerjisi, kWh/m <sup>3</sup>			
	Kolay	Orta	Orta-Zor	Zor
7,65 (10 yd <sup>3</sup> )	< 0,235	0,236 - 0,300	0,301 - 0,390	> 0,391
11,48 (15 yd <sup>3</sup> )	< 0,210	0,211 - 0,275	0,276 - 0,345	> 0,346
15,30 (20 yd <sup>3</sup> )	< 0,185	0,186-0,250	0,251-0,315	> 0,316
19,13 (25 yd <sup>3</sup> )	< 0,155	0,156-0,220	0,221 -0,290	> 0,291

Bir diğerk çalışma ise, 13 m<sup>3</sup>- 15,30 m<sup>3</sup>lük elektrikli yerkazarlar için, Hindistan (1997) tarafından yapılmıştır. Hindistan (1997), çalışmasında sayısal izleme ve kayıt aygıtı kullanmış ve ölçümlerini doğru akım motorlarının armatür geri besleme akım ve voltaj sinyallerinden almıştır. Araştırmacı, özgül kazı enerjisini, makinanın çalışma döngüsünün yalnız kazı evresinde harcanan bölümüne göre, yerinde kayaç hacmi cinsinden hesaplamıştır. Buna göre, gevşetilmiş marn örtü basamaklarında çalışan 15,30 m<sup>3</sup> kepçeli yerkazarlar için bir kazı zorluğu sınıflaması yapmıştır (Çizelge 2). Ölçülen yerkazar kapasitelerinin birbirine yakın oluşu nedeniyle özgül kazı enerjileri, kepçe hacimlerine göre indirgmeden kullanılmıştır. Çizelge 2'de görüldüğü gibi diğerk etkileyicilere göre de kazı zorluğu sınıflama ölçütleri vermiştir.

Hindistan (1997)'in ölçüm yaptığı marnlı yerkazar basamaklarında, çalışmanın yapıldığı işletmeye göre yerinde kayaç yoğunluğu 17,65 kN/m<sup>3</sup> - 24,32 kN/m<sup>3</sup> (1.80 t/m<sup>3</sup>-2.48 t/m<sup>3</sup>), tek eksenli basınç dayanımı 14,00 Mpa - 86,50 Mpa, katmanlaşma kalınlığı 0,10 m - 1,20 m, özgül patlayıcı tüketimi ANFO cinsinden 1,76 N/m<sup>3</sup> - 3,14 N/m<sup>3</sup> (0,180 kg/m<sup>3</sup>-0,320 kg/m<sup>3</sup>), özgül kazı enerjisi ise 0,200 kWh/m<sup>3</sup> - 0,336 kWh/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Araştırmacının ölçtüğü basamaklarda, kayaç kabarma faktörü 1,25 ile 1,42 arasındadır. Makinaların çalışma döngüleri ise ortalama 23,81 s - 34,71 s arasında değişmektedir. Çalışma döngülerindeki dönüş açıları ortalama 90°'dir.

Gevşetilmiş dilimlerde çalışan değişik kapasiteli dragline yerkazarlar için bir benzer çalışma da Özdoğan (2002) tarafından yapılmıştır. Çalışma

döngüsü süresine ve özgül motor kazı gücü (HP/m<sup>3</sup>) oranına ve makina çalışma döngüsü süresine göre indirgenmiş özgül enerjiden hesaplanan kazı kolaylığı göstergesine göre, gevşetilmiş dilim basamakları için, bir kazı kolaylığı sınıflaması önerilmiştir (Çizelge 3). Bu sınıflama, linyit örtü katmanlarında patlatılmış dilimlerde çalışan 15,30 m<sup>3</sup> - 54 m<sup>3</sup> kapasiteli dragline'lar için geçerli olup özgül enerji kabarmış malzeme hacmi cinsindedir. Bu çizelgede verilen gösterge değerinin görece yüksek olması, makina için kazı koşullarının daha kolay olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın yapıldığı kazı dilimlerinin özellikleri ise yerinde yoğunluk 18,14 kN/m<sup>3</sup> ile 23,14 kN/m<sup>3</sup> (1,85 t/m<sup>3</sup> -2,36 t/m<sup>3</sup>), tek eksenli basınç dayanımı 4 MPa ile 45,78 MPa, katmanlaşma kalınlığı 0,30 m ile 1,50 m, ANFO cinsinden özgül patlayıcı tüketimi 0,834 N/m<sup>3</sup> ile 1,628 N/m<sup>3</sup> (0,085 kg/m<sup>3</sup>-0,166 kg/m<sup>3</sup>) arasında değişmektedir. Genişletilmiş kazı dilimi yöntemi uygulanmakta olan makinalarda yapılan bu çalışmada, dilim enleri 55 m' - 100 m, basamak derinlikleri 15 m - 30 m, linyit damarı kalınlıkları 8 m - 25 m arasında değişmektedir. Çeşitli ocaklarda çalışan değişik makinalarda 90°'lik dönüş açılı çalışmalarda yapılan ölçümlerden hesaplanan ortalama özgül kazı enerjisi değerleri 0,46 kWh/m<sup>3</sup> - 0,87 kWh/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Çalışma döngüsü süresine göre dengelenmiş ortalama özgül kazı enerjisi tüketimleri ise 777 x 10<sup>5</sup> kWh/m<sup>3</sup>/s -1114 x 10<sup>5</sup> kWh/m<sup>3</sup>/s arasındadır. Kepçe içindeki kayaç kabarma faktörü 1,09 -1,19 arasında değişmektedir. Çalışma döngüleri ise ortalama 55,81 s - 76,21 s arasında bulunmaktadır (Özdoğan,2002).

Çizelge 2. Elektrikli Yerkazarlar İçin Kazı Zorluğu Sınıflaması (Hindistan, 1997)

Etkileyici	Kazı Zorluğu			
	Kolay	Orta	Orta-Zor	Zor
Özgül Kazı Enerjisi, kWh/t	<0,05	0,051 -0,08	0,081 -0,11	>0,11
Özgül Kazı Enerjisi, kWh/m <sup>3</sup>	<0,115	0,116-0,16	0,161 -0,205	> 0,205
Yapılan Kazı Miktarı, t/h	>10500	10500-8001	8000 - 5500	<5500
Yapılan Kazı Miktarı, m <sup>3</sup> /h	>5000	5000 - 4001	4000 - 3000	<3000

Çizelge 3. Dragline Yerkazarlar İçin Kazı Kolaylığı Sınıflaması (Özdoğan, 2002)

indirgenmiş Özgül Kazı Enerjisi, kWh/rr17sx10 <sup>4</sup>	Etkileşimli Kazı Kolaylığı Göstergesi, (kWh/m <sup>3</sup> /s) <sup>1</sup>	Gözlenen Kazı Kolaylığı	Gözlenen Basamak Gevşekliği
< 83,00	> 121	Kolay	Çok iyi
83,0 - 94,6	121 - 106	Kolay ile orta arası	iyi
95,7 - 107,7	105 - = 90	Orta	Orta
> 107,7	< = 90	Orta ile zor arası	<u>Orta-Zayıf</u>

Çizelge 4.15,30 m<sup>3</sup>lük Yerkazarın Enerji Tüketim Değerleri (Paşamehmetoğlu vd., 1995)

Çalışma Döngüsü No.	Çalışma Döngüsü,s	Enerji Tüketimi, kWh	Enerji Tüketimi, kWh/s	Özgül Kazı Enerjisi, kWh/m <sup>3</sup>	İtiş-Çekiş Enerjisi Tüketimi, kWh	Kaldırış Enerjisi Tüketimi kWh	Döndürüş Enerjisi Tüketimi, kWh
1	45,09	6,17	0,14	0,40	2,15	2,98	1,03
2	52,48	7,45	0,14	0,49	2,74	3,19	1,52
3	52,68	7,32	0,14	0,48	2,27	2,86	2,19
4	46,89	5,96	0,13	0,39	2,07	2,72	1,16
5	49,88	7,56	0,15	0,50	2,29	2,78	2,49
6	42,70	6,25	0,15	0,41	2,36	2,53	1,36
7	47,59	7,01	0,15	0,46	1,93	2,85	2,23
8	46,59	5,86	0,13	0,38	2,00	2,76	1,09
Ortalama	47,99	6,69	0,14	0,44	2,23	2,83	1,63
S.Sapma	±3,49	±0,71	±0,01	±0,05	±0,25	±0,19	±0,58

Burov (2000), 3 m kepçeli Uralmash elektrikli dragline yerkazar için 90° dönüş açılı çalışma döngüsündeki özgül kazı enerjisinin yerinde hacim cinsinden değerini 25,50 kN/m<sup>3</sup> ve 34,32 kN/m<sup>3</sup> (2,6 t/m<sup>3</sup>-3,5 t/m<sup>3</sup>) yoğunluklu malzeme için 0, 70 kWh/m<sup>3</sup> olarak vermektedir. Kayaç kabarma faktörü değeri ise kayacın cinsine göre 1,25 ve 1,35 olarak belirtilmektedir.

#### 4. ÇALIŞMA DÖNGÜSÜ ENERJİSİ VE BİLEŞENLERİ

Elektrikli yerkazarlarda çalışma döngüsü başına tüketilen ortalama enerjinin %60 'ı kaldırış motoru, %20'si döndürüş motoru, % 20'si ise itiş-çekiş motoru tarafından tüketilmektedir, (Hindistan, 1997). Dragline'larda ise çalışma döngüsü başına tüketilen enerjinin % 41-52'si çektiriş motoru, % 42-53'ü kaldırış motoru, ve % 3-9'u döndürüş motorlarınca kullanılmaktadır (Özdoğan, 2002).

Elektrikli yerkazarlarda kepçe doluş evresinde harcanan enerjinin, %75'i kaldırış motoru, % 23'ü itiş-çekiş motoru, ve % 2'si ise döndürüş motorunca tüketilmektedir (Hindistan,1997). Dragline'larda ise, kepçe doluş evresinde tüketilen enerjinin %65-85'i çektiriş motoru, % 15-33'ü kaldırış motoru ve % 0-9 'u döndürüş

motorunca tüketilmektedir, (Özdoğan, 2002). Kepçe saplanması yerkazarlarda itiş motorunca uygulanan kuvvet (crowd force) ile, dragline'larda ise kepçenin ağırlığının oluşturduğu kuvvet ile sağlanmaktadır.

Tunçbilek açık işletmesinde çalışan 15,30 m<sup>3</sup> kepçeli P&H 2300XP model yerkazarlarda yapılmış bazı ölçümlere ait örnekler aşağıda verilmiştir (Çizelge 4 ve 5).

Bu ölçüm, Ceylanoğlu (1991) sınıflamasına göre zor kazı sınıfına girmektedir. Ceylanoğlu (1991), Tunçbilek açık ocaklarında 15,30 m lük dört adet P&H 2300XP makinada yaptığı ölçümde, özgül kazı enerjisini 0,15 -0,21 kWh/m<sup>3</sup>, ve çalışma döngüsünü 28,60 - 32,50 s arasında bulmuştur. Buna göre, basamakta kazı koşulları makinaların üçü için "kolay", diğeri için ise "orta - zor" sınıfına girmektedir (Çizelge 5).

Tunçbilek açık işletmesinde çalışan 15,30 m<sup>3</sup> kepçeli Page 736 model dragline'da yapılan ölçümlerden bir örnek aşağıda verilmiştir (Çizelge 6 ve 7). Verilen örnekte, basamakta çalışan makina için kazı kolaylığının "orta" sınıfa girdiği görülmektedir, (Çizelge 6). Örnek olarak verilen ölçümlerin, çalışma döngüsü enerji bileşenleri ve yüzdeleri ise Çizelge 7'de görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Elektrikli açık işletme yer kazı makinalarının kapasiteleri büyüdükçe, çalışma döngü süreleri ve çalışma döngüsü başına düşen enerji tüketimleri de artmaktadır. Değişik büyüklükteki makinaların enerji tüketimlerini karşılaştırırken, büyüklük ölçeği etkisini azaltabilmek için, etkileycilerin kepçe hacmine, çalışma döngüsü süresine ve karşılaştırılan en küçük kapasiteli makinanın özgül motor gücüne göre indirgenmesi gerekmektedir. Yoksa, sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir.

Elektrikli yer kazı makinalarının kapasiteleri büyüdükçe, özgül enerji tüketimleri azalmaktadır.

Verilen kazı zorluğu sınıflamaları, linyit içeren tortul kayalarda gevşetilmiş örtükazı basamaklarında çalışan elektrikli yer kazar ve dragline'lar için geçerlidir. Bu sınıflamalar her ne kadar ölçümlere dayanmakta ise de araştırmacıların bireysel gözlem, algılama, deneyim ve yorumuna göre önerilmiş olduğu da göz önünde tutulmalıdır.

Elektrikli yer kazarların özgül kazı enerjisini izlemenin bir yararı da dolaylı olarak kayaç delme-patlatma verimi ve yapılan atımların ne ölçüde başarılı olduğu konusunda da bir fikir vermesidir. Kayaç patlatımında, gevşetme ve parçalanma başarımı bu yöntemle de izlenebilmektedir.

Çizelge 5. 15,30 m lük Yer kazarın Enerji Tüketim Değerleri (Ceylanoğlu, 1991)

Yer kazar No (Pano)	Çalışma Döngüsü, s	Kazı Evresi Süresi, s	Çalışma Döngüsü Enerji Tüketimi, kWh	Özgül Kazı Enerji, kWh/m <sup>3</sup>
1 (Beke)	30,50	6,67	2,047	0,149
2 (Ömerler)	32,50	7,00	2,285	0,149
3 (Ömerler)	29,40	5,70	2,362	0,147
4 (36. Pano)	28,60	8,20	3,460	0,210

Çizelge 6. 15,30 m<sup>3</sup>lük Dragline'nın Enerji Tüketim Değerleri (Özdoğan 2002)

Çalışma Döngüsü No.	Çalışma Döngüsü, s	Enerji Tüketimi, kWh	İndirgenmiş Enerji Tüketimi, kWh/s	Özgül Enerji, kWh/m <sup>3</sup>	İndirgenmiş Özgül Enerji kWh/m <sup>3</sup> /s x10 <sup>4</sup>	Kazı Kolaylığı Göstergesi (kWh/m <sup>3</sup> /s) <sup>-1</sup>
1	70,79	7,85	0,11	0,51	72,5	138
2	65,09	9,06	0,14	0,59	91,0	110
3	61,62	9,15	0,15	0,60	97,1	103
4	67,97	10,39	0,15	0,68	99,9	100
5	59,76	10,10	0,17	0,66	110,4	91
6	74,57	12,35	0,17	0,81	108,2	92
7	83,78	13,25	0,16	0,87	103,4	97
8	86,72	17,82	0,21	1,16	134,2	75
9	61,68	8,92	0,15	0,58	94,5	106
10	77,60	12,30	0,16	0,80	103,6	97
11	71,32	10,74	0,15	0,70	98,4	102
12	82,03	10,58	0,13	0,69	84,4	119
13	63,06	11,65	0,19	0,76	120,8	83
Ortalama	71,23	11,09	0,16	0,72	101,4	101
S.Sapma	±8,8	±2,45	±0,02	±0,16	±14,9	±0,15

Çizelge 7.15,30 m<sup>3</sup>'lük Dragline'nın Enerji Tüketimi Bileşenleri (Özdoğan 2002)

Çalışma Döngüsü No.	Çalışma Döngüsü, s	Enerji Tüketimi, kWh	Çektirış Motoru Enerji Tüketimi, kWh	Çektirış Motoru Enerji Oranı,%	Kaldırış Motoru Enerji Tüketimi, kWh	Kaldırış Motoru Enerji Oranı,%	Döndürüş Motoru Enerji Tüketimi, kWh	Döndürüş Motoru Enerji Oranı,%
1	70,79	7,85	3,54	45,1	3,97	50,5	0,35	4,4
2	65,09	9,06	4,82	53,2	3,92	43,3	0,32	3,6
3	61,62	9,15	4,33	47,3	4,51	49,2	0,32	3,5
4	67,97	10,39	5,57	53,6	4,48	43,1	0,35	3,3
5	59,76	10,10	5,15	51,0	4,63	45,8	0,32	3,1
6	74,57	12,35	6,75	54,6	5,29	42,9	0,31	2,5
7	83,78	13,25	7,63	57,6	5,26	39,7	0,36	2,7
8	86,72	17,82	10,64	59,7	6,79	38,1	0,39	2,2
9	61,68	8,92	4,06	45,5	4,49	50,4	0,37	4,1
10	77,60	12,30	7,18	58,3	4,78	38,9	0,34	2,8
11	71,32	10,74	6,02	56,1	4,38	40,7	0,34	3,2
12	82,03	10,58	5,45	51,5	4,81	45,4	0,33	3,1
13	63,06	11,65	6,17	52,9	5,20	44,6	0,28	2,4
Ortalama	71,23	11,09	5,95	52,79	4,81	44,05	0,34	3,2
S.Sapma	±8,8	±2,45	±1,78	±4,51	±0,71	±4,01	±0,03	±0,6

#### KAYNAKLAR

1. Bölükbaşı, N., Koncağül, O., Paşamehmetoğlu, G., 1991; "Material Diggability Studies for the Assessment of BW E Performance ", Mining Science and Technology, Vol. 13, s. 271-277

2. Burov, Y., 2000; Kişisel yazışma, Uralmash-Mining Equipment Firması, Ekaterinburg, Rusya

3. Ceylanoğlu, A., 1991; "Performance Monitoring of Electrical Power Shovels for Diggability Assessment in Surface Coal Mines", Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, 228. sayfa.

4. Danell, R.F. ve Mol, O., 1990;" Excavator Monitoring in Open Cut Mines, Shovel Monitoring System", Advances in Mining Equipment Performance Monitoring, Professional Development Seminar, McGill University, Montreal, Canada, 16. sayfa.

5. Erdem, B., 1996. "Development of An Expert System for Dragline and Stripping Method Selection In Surface Coal Mines", Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, 383. sayfa.

6. Hendrics, C. ve Scoble, B., 1990; "Post Blast Evaluation Through Shovel Monitoring", Proceedings of the 16th Conference on Explosives and Blasting Technique, Orlando, Florida, Int. Society of Explosives Engineers, s. 227-243.

7. Hettinger, D. ve Lumley, G., 1999; "Using Data Analysis to Improve Dragline Productivity", CoalAge, September1, <http://coalage.com/magazinearticle.asp>.

8. Hindistan, M.A., 1997; "Development of A Computer Based Monitoring System and Its Usage for Power Shovel's Monitoring", Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, 139. sayfa.

9. Humphreys, M. ve Baldwin, G., 1994; "Blast Optimization for Improved Dragline Productivity", Proceedings of Conference on Explosives and Blasting Technique, Austin, Texas, Int. Society of Explosives Engineers, s. 157-172.

10. Özdoğan, M., 2002; "Interactive Energy Consumption Parameters of Walking Draglines In Turkish Coal Mines", Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, 143. sayfa.

11. Paşamehmetoğlu, A.G., Karpuz, C, Bozdağ, T., Hindistan, M.A. ve Açıkgöz, B., 1995; "Açık Ocak İş Makinaları için Verim Arttırma Teknolojilerin Geliştirilmesi" Rapor, Proje No: Misag-33 (DPT), 148 s.

12. Young, R.P. ve Hill, J.J., 1986; "Seismic Attenuation Spectra In Rock Mass Characterisation; A Case Study in Open-Pit Mining", Geophysics, Cilt.51. No.2, s. 302-323.