

## YÜRÜYEN ÇEKMEKEPÇEDE KAZI ERKESİNİN VE ÜRETKENLİĞİN KAZI DERİNLİĞİ İLE DEĞİŞİMİ – OLGU ÇALIŞMASI

Variation of Digging Energy and Digging Rate with Bench Dig Depth for Walking Draglines - A Case Study

Geliş (received) 8 Eylül (September) 2010; Kabul (accepted) 25 Kasım (November) 2010

Metin ÖZDOĞAN (\*)  
Mehmet TAKSUK (\*\*)

### ÖZET

Çekmekepçede kazı erkesinin basamağın kazı derinliğine göre değiştiği bilinmektedir. Kazı erkesi basamak tepesinden, basamak tabanına doğru artış göstermekte, kazı hızı ise azalmaktadır. İş döngüsü ve erkesinin kazı derinliğine göre değişimini incelemek üzere biri 63 m bum uzunluklu, 15 m<sup>3</sup> kovalı bir P&H/Page 736, DL1 (63/15) model, öteki ise 72 m bum uzunluklu, 31 m<sup>3</sup> kovalı olan bir Marion 7820, DL2 (72/31) model yürüyen çekmekepçenin kazı basamaklarının tepe, orta ve dip kısımlarında iş döngüleri izlenerek sonuçları tartışılmıştır. Her iki çekmekepçedeki izleme sonuçları, iş döngü süre ve erke değerlerinin kazı derinliğine göre değiştiğini doğrulamaktadır. Bu değişim gözönünde bulundurularak, en uygun basamak kalınlığı saptanabilir. Örtükazı maliyetinde elektrik bileşeninin hesabında, kazı derinliğinin etkisi giderilmiş özgül erke değeri kullanılmalıdır. Özgül erke değiştirgeni, yer kazı aracının örtükazı maliyeti içinde önemli bir yer tutan erke tüketiminin öngörülmesinde, basamakta yapılan lağımlamaların başarısının dolaylı olarak ölçülmesinde yararlanan bir kavram olup kazı basamağını temsil edecek şekilde belirlenmesi önem taşımaktadır. Üretkenlik değiştirgeni de çekmekepçelerin yapacağı işin öngörülmesinde kullanılan bir değişken olup dilimi temsil edecek bir ortalama değer kullanılması önemlidir. Kısa ve uzun dönemli özgül erke ve üretkenlik değerlerinin farklılığını görebilmek için her iki makinanın altı yıllık gerçek ortalama özgül erke ve üretkenlik değerleri de verilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Yürüyen Çekmekepçe, İş Döngüsü, Kazı Derinliği, Kazı Hızı, Kazı Erkesi, Özgül Erke

### ABSTRACT

It is known that dragline's digging energy changes depending upon the digging depth of the bench. Digging energy increases from bench top to bench bottom whereas digging rate decreases. For investigating variation of work cycle and digging energy by digging depth, a 63-m boom and 15-m<sup>3</sup> bucket P&H/Page 736, DL1(63/15), model and a 72-m boom and 31-m<sup>3</sup> bucket Marion 7820, DL2(72/31), model walking draglines working at the bench top, bench mid and bench bottom were monitored and results are discussed. The monitoring results of the both draglines verify that work cycle durations and energy values change depending on the digging depth. Taking this variation into account, the optimum bench thickness may be determined. In calculating electrical component of the stripping cost, the digging depth compensated specific energy figure should be used. Specific energy is a substantial parameter used in foreseeing energy consumption of earthmoving equipment which is a major component in stripping cost, and in evaluating the blasting performance of dragline benches; for this reason specific energy figures to be determined in such a way that they represent the bench being excavated. Digging rate parameter is a significant one utilized in forecasting the production of the draglines and the use of average figures representing the digging bench is crucial. In order to see the discrepancy of short and long term specific energy and productivity figures, actual annual specific energy and productivity figures of six years are also given.

**Keywords :** Walking Dragline, Work Cycle, Digging Depth, Digging Rate, Digging Energy, Specific Energy

(\*) Dr. Mad. Yük. Müh., İdeal Makine Danışmanlık Ltd. Şti., ANKARA, metinozdogan@gmail.com

(\*\*) Maden Yük. Müh., TKİ Garp Linyitleri İşletmesi Tunçbilek, KÜTAHYA

## 1. GİRİŞ

Çekmekepçelerde iş döngüsü erkesi ve özgül erke tüketimi basamağın üst seviyelerinden alt seviyelerine doğru azalma gösterir (Young and Hill, 1985). Bu fark basamak kalınlığı arttıkça daha da belirginleşir. Bu çalışmada biri 63 m bom uzunluklu, 15 m<sup>3</sup> kovalı bir P&H/Page 736 (DL1 63/15), ile 72 m bom uzunluklu, 31 m<sup>3</sup> kovalı bir Marion 7820 (DL2 72/31) çekmekepçede bu durum izlenip tartışılmıştır. Kazı derinliği ile erke tüketimi değişimi, gözönüne alınmaz ise çekmekepçenin belirlenen özgül erke tüketimi rakamı yanıltıcı olabilir.

Özgül kazı erkesi kavramının yararlandığı bir diğer alan ise, özgül erke değerinin lağımlama başarımının (kaya parçalanımı) dolaylı bir ölçütü olarak kullanılmasıdır. Başarılı atım ve parçalanımlarda, çekmekepçenin özgül erke tüketimi göreceli olarak daha düşük çıkmaktadır. İyi parçalanma olmaz ise kayacı koparmak ve kepçeyi doldurmak için daha çok erke harcanır. Basamağın parçalanmanın iyi olmadığı kesimlerinde, özgül erke tüketimi daha yüksek çıkar. Kazı derinliği yüzünden oluşan erke tüketimi artışı gözönüne alınmaz ise, bu artışın basamak dibinde iyi parçalanmamış kayaçtan kaynaklandığı izlenimi elde edilebilir. Bu bakımdan, kazı seviyelerine göre erke tüketimi değişiminin farkında olunması önem taşır.

Çekmekepçede basamak kalınlığı arttıkça hem özgül erke tüketimi artmakta, hem de döngü süresi uzadığı için kazı hızı düşmektedir. Hem erke tüketiminin, hem de üretim hızının en uygun olduğu basamak kalınlığı belirlenebilir. DL1(63/15) için en uygun kalınlık işletmece 15 m olarak belirlenmiştir. Aracın en çok kazabileceği derinlik 20 m dir. Maden işletmesinin DL2(72/31) makina için saptadığı en uygun basamak kalınlığı ise 25 m dir. Oysa bu çekmekepçe 35 m derinliğe kadar kazabilmektedir (Özdoğan, 1984). En uygun basamak kalınlığı belirlenirken yalnızca erke tüketimi ve kazı hızı gözönüne alınmaz. Üzeri açılan kömür damarının üretim hızı (talep durumu), görece çok ucuz bir örtü kaldırma aracı olan çekmekepçeye daha kalın örtü kazdırmak gibi başka etkenlerde gözönünde tutulur. Kömür üstü açma hızı ile kömür damarının kazılıp dilimin boşaltılması eşgüdüm içinde olmalıdır. Aksi takdirde makina dönecek dilim boşluğu bulunmadığı için günlerce kömür diliminin boşalmasını beklemek durumunda kalabilir. DL1(63/15), eni 50 m kalınlığı 15 m olan bir dilimi

enli dilim yöntemi ile kaldırmakta idi. Basamakta kaya parçalanımı çok iyi olup kepçe dolma çarpanı 0,95, kabarma çarpanı 1,15 idi. Linyit damarı kalınlığı 8 m, üstündeki örtü katmanı birim ağırlığı 20 kN, tek eksenli basma dayanımı ortalama 46 MPa, dolaylı çekme dayanımı ortalama 8 MPa olan marndı. Örtü katmanının lağımlanmasında kullanılan birim patlayıcı tüketimi (özgül yük) 1,66 N olup sallama kepçe basamağında elde edilen ortalama parçalanmış kaya hacmi 0,020 m<sup>3</sup> (0,38 m x 0,26 m x 0,20 m), en iri kaya parçası hacmi ise 0,094 m<sup>3</sup> olup boyutu 0,75 m x 0,50 m x 0,25 m idi. Olay çalışması bu koşullarda yapılmıştır. Gevşetilmemiş dilim kesitinde gözlenen örtü kayacı marnda, gözlenen katmanlaşma kalınlığı 0,40 m-1,00 m, katmanlaşmaya dik aralıkları 1,20 m-1,50 m olan iki adet çatlak takımı bulunmaktaydı (Özdoğan, 2002a).

DL2(72/31) ise, eni 60 m kalınlığı 25 m olan bir dilimi enli dilim yöntemi ile kazmakta idi. Olgu çalışmasının yapıldığı koşullar aşağıda verilmiştir. Basamakta kaya parçalanışı çok iyi olup kepçe dolma çarpanı 1,00, kabarma çarpanı 1,20 idi. Linyit damarı kalınlığı 10 m olup üstündeki örtü katmanı birim ağırlığı 20 kN, tek eksenli basma dayanımı ortalama 23 MPa, dolaylı çekme dayanımı ortalama 3 MPa olan marndı. Örtü katmanının lağımlanmasında kullanılan birim patlayıcı tüketimi (özgül yük) 1,43 N olup kazı basamağında elde edilen ortalama parçalanmış kaya hacmi 0,011 m<sup>3</sup>, ( 0,325 m x 0,30 m x 0,15 m ), en iri kaya parçası hacmi ise 0,060 m<sup>3</sup> olup boyutu 0,60 m x 0,50 m x 0,20 m idi. Gevşetilmemiş dilim kesitinde gözlenen örtü kayacı marnda, gözlenen katmanlaşma kalınlığı 0,60 m-0,90 m, katmanlaşmaya dik aralıkları 1,00 m-1,20 m olan iki adet çatlak takımı bulunmaktaydı (Özdoğan, 2002a).

Ölçümlerde deneyevi türü bir izleme aygıtı kullanılmıştır. Yerkazı aracının denetim kabini her devinimin motoru için bir dizi kontrol noktası ile donatılmıştır. Bu motorların sinyal test noktaları hem armatür voltajı hem de armatür akımı için temiz ± 15 VDC sinyalleri sağlar (Özdoğan ve Özgenoğlu, 2009). Bu sinyallerin değerlerinden ve motorun güç aşımı nedeniyle durma noktası (stall) voltaj ve akım değerlerinden yararlanarak, çalışma döngüsündeki gerçek voltaj ve akım değerlerini hesaplamak olasıdır. Armatür akım ve voltaj değerleri bilindiğinde doğru akım motorunun tükettiği güç ve enerji hesaplanabilir (Özdoğan, 2003).

## 2. DL1(63/15) ÇEKMEKEPÇEDE YAPILAN ÖLÇÜMLER

Bu çekmekepçe, 1971 yılında hizmete girmiş olup 2010 yılında toplam çalışma süresi 153,000 saate ulaşmıştır. Bu olgu çalışmasında dilim eni 50 m, dilim kalınlığı ortalama 15 m olan enli dilim yöntemi uygulanmakta olup yenidenkazi oranı % 30 civarındadır. Dönüş açısı 90°, kepçe dolma çarpanı değeri 0.95 yöresinde olup dilim kalınlığı 15 m idi. Basamak geometrisi açalarına gelince, dökü yığına açısı 60°, yeni dilimde kömür damarı şev açısı 80° ve örtü katmanı şev açısı 55° dir.

Bu çalışmada 14 adedi basamak üst kısmından, 32 adedi basamak ortasından, ve 13 adedi de basamak dip kısmından olmak üzere toplam 59 döngü izlenmiş olup sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Şekil 1 ise kazı derinliğine göre makinanın devinim motorlarının döngü başına erke tüketimlerini göstermektedir.

İş döngü süresinin basamak tepesinde, orta kesime göre daha düşük olması beklenir, oysa Çizelge 1'de izlendiği gibi burada yüksek olduğu görülmekte, çektiriş motoru erke tüketiminin de aynı şekilde basamak tepesinde yüksekliği dikkat çekmektedir. Bunun nedeninin basamağın tepe kısmında lağımın çok iyi iş görmemiş olması, kayanın koparılıp kovanın içine doldurulduğu için daha çok oyalanıp süre yitirildiği sanılmaktadır. Kazıyı temsil eden çektiriş erkesinin de yüksekliği bunu göstermektedir. Dilim derinliği görece sığ

olduğundan (15 m), basamak tepesi ile orta kısmı arasında varolması gereken fark da zaten çok belirgin değildir. Bunun yanısıra, operatörün dönüş açısını 90° den 1-2 derece saptırması olma olasılığı da bir başka etken olabilir diye düşünülmektedir.

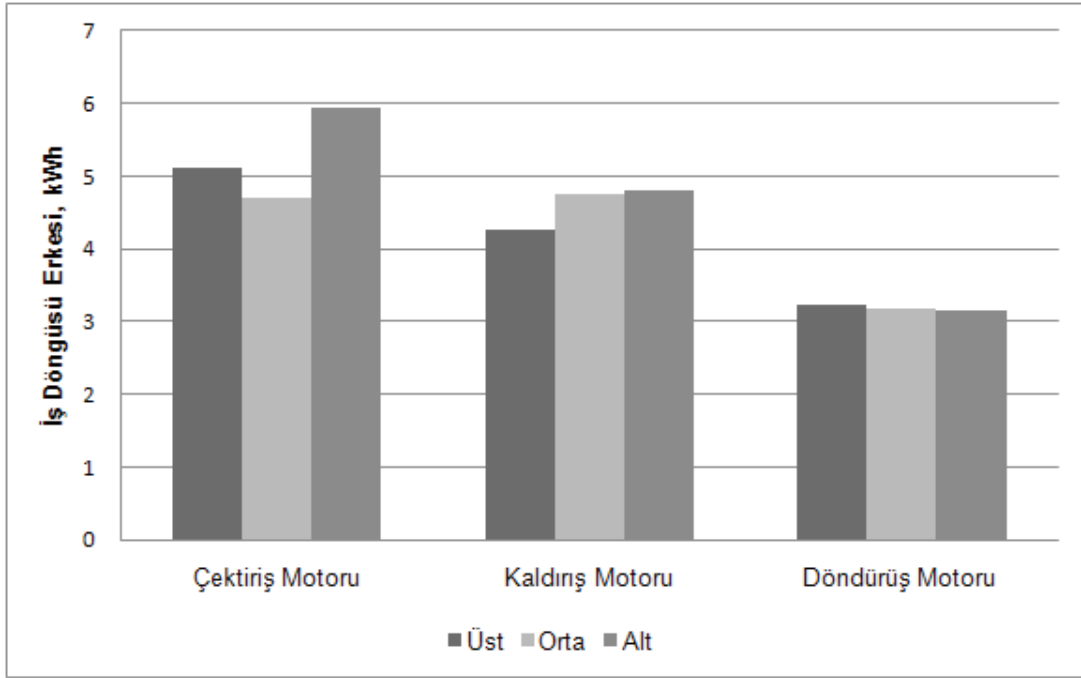
Çizelge 1'den anlaşıldığı gibi, basamak tepesinden dibine doğru inildikçe erke tüketimi basamağın metresi başına 0,095 kWh (%13) artmaktadır. Kazı hızı ise saat başına 19 m<sup>3</sup> (%3) düşmektedir. Bu verilerden yararlanarak, daha derin dilimlerde erke tüketimi ve üretkenlik azalması kestirilebilir. Bu, anlık, sınırlı ölçüm sonuçlarına göre yapılan hesaplarda DL1(63/15) çekmekepçenin en uygun dilim kalınlığı 11,25 m çıkmaktadır. En uygun kalınlıkta erke tüketimi 10,30 kWh, kazı hızı ise 668 m<sup>3</sup>/sa olmaktadır. Bulunan bu dilim kalınlığının, ocakta halen kullanılmakta olan basamak kalınlığına oldukça yakın olduğu görülmektedir.

## 3. DL2 (72/31) ÇEKMEKEPÇEDE YAPILAN ÖLÇÜMLER

Bu çekmekepçe 1976 yılından beri çalışmakta olup katlamalı çalışma süresi 2010 yılında 130,000 saate ulaşmıştır. DL2(72/31) çekmekepçede dilim eni 60 m, dilim kalınlığı ortalama 25 m olan enli dilim yöntemi uygulanmaktaydı. Döngülerin, dönüş açıları ortalama 90° yöresinde olup yeniden kazı yüzdesi 25-30 arasındaydı.

Çizelge 1. DL1(63/15) Makina Değişkenlerin Kazı Derinliğine Göre Değerleri (Özdoğan, 2002a)

Kazı Yeri	İş Döngü Süresi (sn)	Yerinde Kazı Hızı (m <sup>3</sup> /sa)	İş Döngü Erkesi (kWh)	Birim İş Döngü Erkesi (kWh/sn)	Özgül Kazı Erkesi (kWh/m <sup>3</sup> )	Çektiriş Motoru Erke Tüketimi (kWh)	Çektiriş Motoru Erke Tüketimi (%)	Kaldırış Motoru Erke Tüketimi (kWh)	Kaldırış Motoru Erke Tüketimi (%)	Dön. Motoru Erke Tüketimi (%)
Tepe	69,18 ±7,10 (14 ad.)	643	9,67 ±1,18	0,14 ±0,02	0,63 ±0,08	5,12 ±0,74	52,74 ±2,21	4,25 ±0,49	44,04 ±2,06	3,22 ±0,40
Orta	62,48 ±5,50 (32 ad.)	712	9,73 ±2,04	0,16 ±0,03	0,64 ±0,13	4,69 ±1,10	48,90 ±6,01	4,75 ±0,97	47,93 ±6,87	3,18 ±1,41
Dip	71,23 ±8,80 (13 ad.)	624	11,09 ±2,45	0,16 ±0,02	0,72 ±0,16	5,95 ±1,78	52,79 ±4,51	4,81 ±0,71	44,05 ±4,01	3,16 ±0,62
Artış	(%3)	(- %3)	(%13)	(%12.5)	(%12.5)	(%14)	-----	(%12)	-----	-----
Ort.	67,63 ±3,74	660 ±38	10,16 ±0,66	0,15 ±0,10	0,66 ±0,04	5,25 ±0,52	51,48 ±1,82	4,60 ±0,25	45,34 ±1,83	3,19 ±0,03



Şekil 1. DL1(63/15) makinada kazı derinliğine göre devinim motorlarının döngü başına erke tüketimi.

Bu olgu çalışmasında, 10 adedi basamak üst kesiminde, 23 adedi basamak orta kesiminde, 10 adedi de basamak dip kesiminde olmak üzere toplam 43 adet iş döngüsü izlenmiş olup sonuçları, Çizelge 2'de verilmiştir. Şekil 2 ise kazı derinliğine göre yerkazı makinasının devinim motorlarının erke tüketim durumunu göstermektedir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi üretim hızı, yapılan saatlik iş miktarı, basamak tepesinden dibine, azalmaktadır. Bunun nedeni, basamak tepesinden dibe doğru döngü süresinin uzamasıdır.

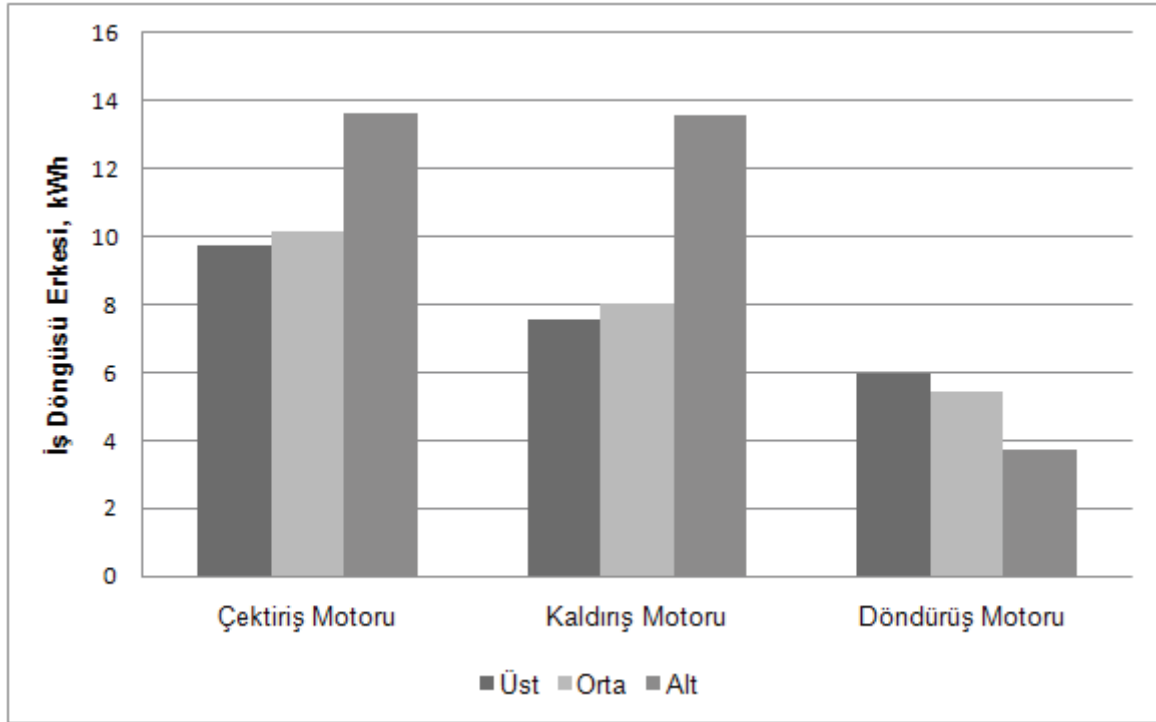
Daha derin bir basamak (25 m) ve daha başarılı bir lağımlama nedeniyle, beklendiği gibi, iş döngü süreleri, basamak tepesinden basamak dibine doğru artan, kazı hızı ise tepeden dibe azalan bir dizelenme göstermektedir. Çizelge 2'den anlaşıldığı gibi basamak tepesinden dibine doğru inildikçe erke tüketimi basamağın metresi başına 0,39 kWh, (%36), artmaktadır. Kazı hızı ise saat başına 533 m<sup>3</sup>, (% 35), düşmektedir. Bu verilerden yararlanarak daha derin dilimlerde erke tüketimi ve üretkenlik azalması kestirilebilir. DL2(72/31) çekme kepeçede, bu olgu çalışmasında elde edilen sınırlı sayıdaki verilere göre, basamağın tepesinden dibine doğru 13,75 m derinlik erke tüketimi ile üretim hızının en uygun olduğu noktadır. Bu noktada erke tüketimi 22,50 kWh, ve kazı hızı 1012,50 m<sup>3</sup>/sa' tir. En uygun dilim

kalınlığının belirlenmesinde, yalnızca bu iki değişken gözönüne alınmaz. Üstü açılan kömür damarı diliminin boşaltılma hızı, çekmekepeç örtükazısı birim maliyeti ile yerkazar-kayataşıtı örtükazısı maliyeti karşılaştırılması gibi hususlar da dikkate alınarak çekmekepeçeye bırakılan örtü kalınlığı saptanır. Çekmekepeç örtükazı yöntemi kazdığı örtüyü, kömürü kazılıp boşaltılan bir önceki dilime dökeceğinden, üretilen kömürün tüketilme hızına bağımlı bir sistemdir. Bu ölçümlerde ortaya çıktığı gibi varsayalım ki en uygun dilim kalınlığı 14 m olsun. Kazı hızı ve erke tüketiminin en uygun olduğu bu koşullarda çalışıldığını düşünelim. Kömürün üstündeki örtü katmanı görece daha çabuk kaldırıldığından, çekmekepeç açılan kömür diliminin boşaltılması için günlerce boşta beklemek durumunda kalacaktır. Bir başka deyişle, işletmenin diğer koşulları da gözönüne alınmak durumundadır. Olgu çalışmasının yapıldığı bu işletmede, çekmekepeçelere bırakılan dilim kalınlığı düzeyine ininceye kadar, pahalı bir sistem olan yerkazar-kayataşıtı yöntemi ile örtükazı yapılmaktadır. Belki de, bir 10 m'lik örtü kalınlığının daha pahalı olan bu yerkazar-kayataşıtı dizgesi ile yapılması, yapılacak elektrik erkesi tutumunu anlamsız kılacaktır. Ancak, örtü katmanı inceltme gerektirmeden yalnızca çekmekepeç ile kaldırılacak kalınlıkta ise ve kömüre istem yüksek ise durum elbette farklı olabilir.

Çizelge 2. DL2(72/31) Çekmekepçede Değişkenlerin Kazı Derinliğine Göre Değerleri (Özdoğan, 2002a)

Kazı Yeri	İş Döngü Süresi (sn)	Yerinde Kazı Hızı ( m <sup>3</sup> /sa)	İş Döngü Erkesi (kWh)	Birim İş Döngü Erkesi (kWh/sn)	Özgül Kazı Erkesi (kWh/m <sup>3</sup> )	Çektirış Motoru Erke Tüketimi (kWh)	Çektirış Motoru Erke Tüketimi (%)	Kaldırış Motoru Erke Tük. (kWh)	Kaldırış Motoru Erke Tüketimi (%)	Dön. Motoru Erke Tüketimi (%)
Tepe	62,48 ±2,50 (10 ad.)	1486	18,42 ±1,67	0,30 ±0,03	0,60 ±0,05	9,75 ±1,10	52,89 ±2,67	7,58 ±0,90	41,13 ±2,95	5,98 ±0,97
Orta	75,96 ±10,20 (23 ad.)	1224	19,21 ±1,97	0,26 ±0,03	0,63 ±0,06	10,15 ±1,81	52,53 ±4,67	8,02 ±0,73	42,02 ±4,42	5,45 ±0,65
Dip	97,55 ±12,70 (10 ad.)	953	28,23 ±2,76	0,29 ±0,03	0,92 ±0,09	13,64 ±2,23	47,98 ±3,89	13,55 ±0,67	48,31 ±3,52	3,71 ±0,40
Artış	(%36)	(- %36)	(%35)	-----	(%35)	(%29)	-----	(%44)	-----	-----
Ort.	78,66 ±14,44	1221 ±218	21,95 ±4,45	0,28 ±0,02	0,72 ±0,14	11,18 ±1,75	51,13 ±2,24	9,72 ±2,72	43,82 ±3,20	5,05 ±0,97

Şekil 2. DL2(72/31) makinada kazı derinliğine göre devinim motorlarının döngü başına erke tüketimi.



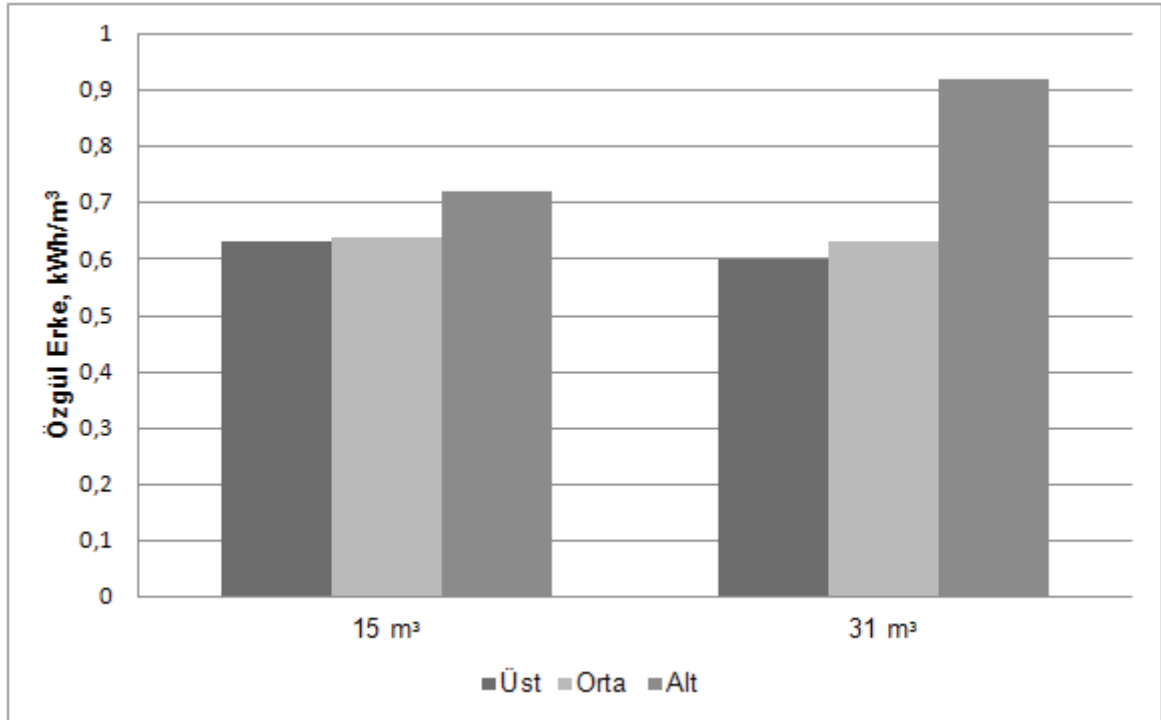
#### 4. TARTIŞI

Çizelge 1 ve Çizelge 2' de, her iki çekmekepçe için kazı basamağı derinliğine göre iş döngü süresi, kazı hızı, iş döngü erke tüketimi, birim kazı erkesi ve özgül kazı erkesi değişimleri verilmiştir. Şekil 3' de ise, her iki makinada özgül kazı erkesinin kazı derinliği ile değişimi görülmektedir. Basamak tepesi ile dip kesimleri arasında üretkenlik hızı ve iş döngüsü erke tüketimi farklılığı vardır. Bu fark, özellikle, dilim kalınlığı daha çok olan DL2(72/31) çekmekepçede daha belirgindir. Basamak dibindeki döngülerde, döngü süresi arttığı için, birim sürede yapılan iş miktarında ise bir azalma olduğu izlenmektedir. Basamağın dip kesimindeki iş döngüsü erkesinin, tepe kısmına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu duruma teknik yazında da değinilmektedir. Bu farkın, kovanın basamağın dip kesiminde çalışırken, daha uzun bir dikey mesafe katetmek durumunda kalmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanmaktadır (Young ve Hill,1985). Çekmekepçe yeni basamakta kazıya ilk başladığında, kovanı boşaltılmış dilime, oturduğu düzlemin 2-3 m yüksekliğinden dökmeye başlar; boşluk doldukça yığınlar oluşur, çalışmasını, kovanı daha yükseğe boşaltarak sürdürür. DL1(63/15) çekmekepçe için dökü yüksekliği oturduğu düzlemin 27 m üstüne kadar

çıkabilir. DL2(72/31) çekmekepçe için ise dökü yüksekliği 32 m' ye kadar ulaşır. Erke tüketimi süre bağımlı bir değişken olduğundan kazının hangi derinlikte yapılıyor olması kadar, kazılan kovanın boşaltıldığı yığının yüksekliği de önemlidir.

Basamak dibindeki kazı erkesi yüksekliğine katkıda bulunan bir diğer etken de, basamak dibinde bulunan iyi gevşetilmemiş kaya topukları olabilir. Çekmekepçe kalan bu topukları kazıp kovaya doldurmak için, çekmekepçe devriminde, görece daha uzun bir süre harcayabilir. Aynı parçalanma zayıflığının, deliğin sıkılama yapılan kesimlerinde, basamağın tepe kısımlarında da görülmesi beklenir. DL1(63/15) çekmekepçe için bu durum sözkonusu idi, basamağın üst kısımlarında parçalanış yetersizliği vardı. Ancak, DL2(72/31) çekmekepçe basamağının üst kesiminde kaya parçalanımı yeterliydi.

Döndürüş motoru erke tüketiminin, diğer motorları ile kıyaslandığında, neredeyse ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir (Çizelge 1 ve Çizelge 2). Bu durum, çekmekepçe üst bölümünün, bir bakıma dev bir rulman gibi davranan dönüş makara ve rayları üzerinde dönüyor olmasından; ve kepçeyi boşaltmak için durup yeniden kazı konumuna geri dönüş



Şekil 3. Özgül kazı erkesinin her iki çekmekepçede basamak kazı düzeyi ile değişimi.



evresinde elektrik üretmesinden (re-generation) kaynaklanmaktadır. Bu çekmekepçede kullanılan Ward-Leonard MG set - DC motor kontrol düzeneğinin bir özelliğidir. Yeniden elektrik üretimi, dönüş yönü değişikliği (polarite değişikliği) durumunda oluşur. Aynı biçimde yeniden elektrik üretimi, kepçe doldurulduktan sonra çekme halatının geri bırakılması sırasında; boş kova tepeden aşağıya basamak dibine doğru bırakıldığında da makine bir miktar elektrik üretip sisteme geri verir. Üretilen bu miktar, özellikle zıt yönde katedilen yolun uzun olduğu, boş kepçe dönüşünde ve kaldırma halatının aşağıya inişinde olduğu gibi durumlarda önemli düzeye ulaşır. Dönüş devinimi, dolu kepçe ile dönerken tükettiği enerjinin önemli bir bölümünü, boş kepçe ile geri dönerken yeniden ürettiği için, toplamda düşük erke tüketir. Dönüş başlangıçlarında, aracın yapısal büyüklüğü yüzünden eylemsizlik momenti yüksektir, bu nedenle ilk devinimi sağlamak zordur, ilk devinim sağlandıktan sonra ise dönüş kolaylaşır (Özdoğan, 2010).

## 5. KISA VE UZUN DÖNEM DEĞERLERİ

### 5.1. Özgül Erke

İzlenen döngülerde, DL1(63/15) çekmekepçe için hesaplanan ortalama özgül erke değeri  $0,66 \pm 0,04$  kWh/m<sup>3</sup> çıkmıştır. Altı yılda gerçekleşen, (2004-2009), ortalama özgül erke değeri ise  $0,86 \pm 0,10$  kWh/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Artış yüzdesi 23' tür. DL2(72/31) çekmekepçe için ise bu değerler sırasıyla  $0,72 \pm 0,14$  kWh/m<sup>3</sup> ve  $0,82 \pm 0,14$  kWh/m<sup>3</sup> olup artış oranı % 12 dir (Çizelge 3). Şekil 4' de ise her iki çekmekepçe için kısa süreli ve yıllık ortalama özgül erke değerleri görülmektedir.

Kısa dönem izlemelerine dayanan anlık değerlerin düşük çıkması beklenen bir olgudur, çünkü bu değer yalnız örtü katmanı kazısında geçen sürede tüketilen erkeyi içerir (Talay, 2010). Oysa yıllık değerler, yenidenkazı, kömür kazı, yol yapımı, dolgu yapımı gibi örtü katmanı kazısına girmeyen işlerin yanısıra yerdüzleme, yürüme, vardiye değişimlerinde makinanın çalışır durumda bırakıldığı aralarda harcanan erke, çekmekepçe trafosundan beslenen tulumbalar, bakım-onarım, ocak aydınlatması işlerinde kullanılan erke tüketimlerini de içerirler. Tüketilen bu toplam erke rakamı, yerinde hacim cinsinden kazılan örtükazı miktarına bölünerek elde edilir. Sözgelimi, çekmekepçenin yaptığı işlerden

olan yenidenkazı, kömürkazı, dolgu, yol yapımı v.b. gibi işler yerinde hacim cinsinden ölçülen çekmekepçe örtükazısı miktarının dışındadır. Bu işler, ölçüm dışı olup yerinde çekmekepçe örtükazısı cinsinden kayda girmezler ancak erke tüketirler.

### 5.2. Kazı Hızı

Kısa süreli ölçüm ve gözlemlerden hesaplanan kazı hızı ortalamaları; DL1(63/15) çekmekepçe için  $660 \pm 38$  m<sup>3</sup>/sa, 31 m<sup>3</sup> kovalı araç için ise  $1221 \pm 218$  m<sup>3</sup>/sa dir. DL1(63/15)'nin kazı hızı, makinanın yıllık ortalama ayakta kalma oranı ve kullanım oranının çarpımı olan (yerkazı aracı etkinliği,) 0,50 ile çarpıldığında, 330 m<sup>3</sup>/sa değeri çıkmaktadır (Çizelge 3). Bu da, gerçek yıllık ortalama kazı hızı değeri olan  $409 \pm 54$  m<sup>3</sup>/sa değerine yakın diye düşünülebilir.

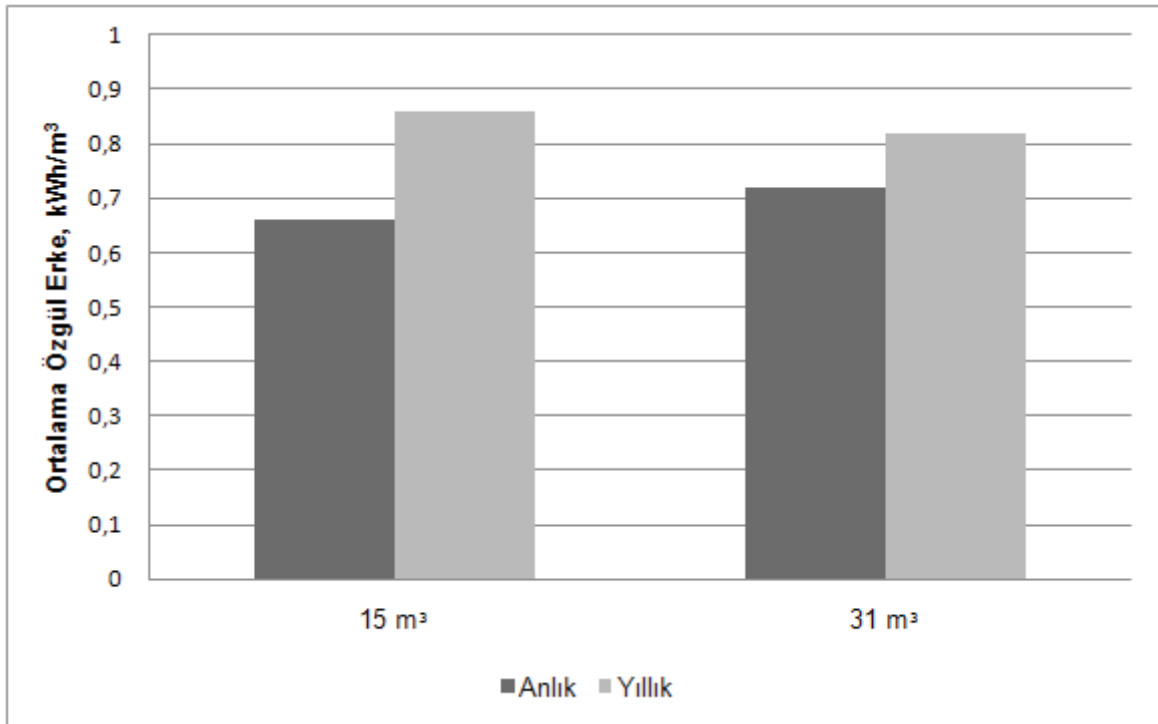
DL2(72/31) çekmekepçenin kısa süreli kazı hızı değeri olan  $1221 \pm 218$  sayısı, bu makinanın yıllık ortalama ayakta kalma oranı ve kullanım oranı çarpımı ile elde edilen araç etkinliği, (EE), değeri olan 0,47 ile çarpılırsa 574 m<sup>3</sup>/sa rakamı elde edilir. Bu da, yıllık ortalama kazı hızı değeri olan  $594 \pm 204$  m<sup>3</sup>/sa' e oldukça yakındır.

### 5.3. Ayakta Kalma ve Kullanım Oranı

DL1(63/15) daha yaşlı bir makina olmasına karşın, (6) altı yılın ortalamasına göre ayakta kalma oranı  $69 \pm 5$  olup DL2(72/31)'nin ayakta kalma oranı olan  $64 \pm 12$  değerinden daha yüksektir; standard sapma değeri de daha iyidir (Çizelge 3). Bu durum, DL1(63/15)'in denge-dayanıklılık oranı (sturdiness ratio) değerinin ( $67$  ton/ m<sup>3</sup>), DL2(72/31)'nin dayanıklılık değerinden ( $55$  ton/ m<sup>3</sup>) daha yüksek olması ile açıklanabilir. Yerkazı makinalarında denge-dayanıklılık oranı, aracın çalışma ağırlığının kova hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır (Özdoğan 2002b). Kullanım oranları ise her iki çekmekepçe için aynı olup standard sapma değerinin DL1(63/15) için daha iyi olduğu görülmektedir. Makinanın bu iki değiştireninin, ayakta kalma oranı ve kullanım oranlarının, çarpımı ile elde edilen değer yerkazar etkinliği (EE) olarak tanımlanır.

Çizelge 3. Her İki Çekmekepçede Kısa ve Uzun Dönem Kazı ve Erke Değişkenlerinin Karşılaştırılması

Çekme Kepçe No.	Yıllık Ortalama Çalışma Saati (sa)	Ayakta Kalma Oranı (A) %	Kullanım Oranı (U) %	Yıllık Ortalama Örtükazı Miktarı (m <sup>3</sup> ) x 10 <sup>3</sup>	Gerçek Ortalama Saatlik İş Miktarı ( m <sup>3</sup> /sa)	Yıllık Ortalama Erke Tüketimi (kWh) x 10 <sup>3</sup>	Anlık Ortalama Özgül Erke (kWh/m <sup>3</sup> )	Yıllık Ortalama Özgül Erke (kWh/m <sup>3</sup> )	Artış Oranı (%)
DL1 (63/15)	4659 ±363	69±5	73±3	1,910 ±304	409 ±54	1,632 ±271	0,66 ±0,04	0,86 ±0,10	23
DL2 (72/31)	4153 ±849	64±12	73±7	2,575 ±372	594 ±203	1,970 ±193	0,72 ±0,14	0,82 ±0,14	12



Şekil 4. Her iki çekmekepçenin kısa ve uzun dönem özgül erke değerlerinin karşılaştırılması.



## 6. SONUÇLAR

Özgül erke değerleri, basamak kesitinin üst kesiminden dip kesimine doğru artış göstermektedir. İş döngüsü erke tüketimine, yalnız basamaktaki kazı derinliği değil kovanın dökü yüksekliği de etki etmektedir. Kova ne kadar yükseğe boşaltılıyorsa, erke tüketimi de o denli artmaktadır. Kazı hızının ve özgül erkenin doğru tesbit edilebilmesi için bu gerçeklerin bilinerek ortalama değerlerin gözönüne alınması gerekir.

Bilindiği gibi, çekmekepçelerin özgül erke değerleri, panoların örtükazı maliyetlerinin hesaplanmasında (elektrik erkesi gideri) kullanılan önemli verilerden biridir. Bu nedenle, bu hesaplarda kullanılacak özgül erke verilerinin, en azından, basamağın tepe, orta ve dip kısımlarında yapılan ölçümlerin ortalamalarından elde edilen değerlerle hesaplanması önerilir.

Makinanın kazı hızının hesaplanmasında kullanılan iş döngü süresi de kazı seviyesi ile değiştiğinden, çekmekepçenin üretkenliğinin hesaplanmasında ortalama değerlerin kullanılması önerilir. Yoksa, yanıltıcı sonuçlara varılabilir. Yapılan ölçüme göre kazı hızındaki bu düşüş DL1(73/15)'de %3, DL2(72/31)'de ise, basamak daha derin olduğundan, % 36'dır.

Çeşitli çekmekepçelerin özgül erke tüketimlerinin karşılaştırılmasında da, kazı seviyelerine dikkat etmek gerekir. Ya basamak ortalama değerleri ya da basamakların aynı kazı seviyesindeki özgül erke ve üretkenlik değerleri karşılaştırılmalıdır. Yoksa, yapılan karşılaştırmalar anlamlı olmayabilir.

Kaldırış motoru erke tüketiminin de, basamak tepe kısımlarından dip kısımlarına doğru gittikçe arttığı görülmektedir. Çünkü, dip kısımlarda çalışırken doldurulan kova, dökü yığını düzeyine yükselinceye kadar uzunca bir yol katetmektedir. Bu erke değişimi, özellikle, basamak kalınlığı arttıkça daha da belirgin hale gelmektedir. Dilim kalınlığı 15 m olan DL1(73/15) çekmekepçede basamak tepesi ile dibi arasındaki erke tüketim artışı % 13 iken, dilim kalınlığı 25 m olan DL2(72/31) çekmekepçede ise bu fark % 35 'e çıkmaktadır.

Çektiriş motoru erke tüketiminin, bir bakıma kovanın kayacı koparma gücünü temsil etmesi nedeniyle, kazı derinliğinden çok kazı çetinliğinden

etkilendiği gözlenmektedir. Genellikle, çektiriş motoru erke tüketiminin fazla olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni, çektiriş motorunun kazı görevi yapan bir motor olmasıdır. Kaldırış motorunun işi ise, ikinci derece çetinlikte olup görevi kovayı kaldırıp indirmek, taşımak, boşaltmaktır. Döndürüş devinimi ise çetinlik dizelemesinde üçüncü sırada yer alır. Bu çalışmaya göre, döndürüş motoru erke tüketiminde, dönüş açısında önemli bir değişiklik yoksa, kazı derinliği ile önemli bir değişiklik görülmez.

Kısa zaman dilimi içinde yapılan ölçümlerde elde edilen ortalama özgül erke değerleri ile yıllık verilerden hesaplanan özgül erke değerleri arasında fark vardır. Yıllık verilerden hesaplanan özgül erke değerleri, yapılan anlık ölçümlerden hesaplanan değerlerden daha yüksek çıkmaktadır. Bu artış oranı DL2(72/31) çekmekepçede % 12, DL1(73/15) çekmekepçede ise % 23 ' ü bulmaktadır.

DL1(73/15) çekmekepçede 90 ° dönüş açısında anış (nominal) döngü süresi 55 sn, DL2(72/31) çekmekepçede ise 57 sn' dir (Özdoğan, 1984). Çizelge 1 ve Çizelge 2' de görüldüğü gibi basamak tepesinde, beklenenin tersine, döngü süresi DL2(72/31) makina için daha düşük çıkmıştır. Oysa, aynı yaşlarda olan bu iki çekmekepçeden kova kapasitesi daha yüksek olanın, döngüyü daha uzun sürede tamamlaması beklenir, nitekim anış döngü süreleri de bunu işaret etmektedir. Bunun açıklaması dönüş harman dişlileri, dönüş makaraları, alt ve üst rayların durumu, ayarları, bakım ve yağlama durumu farklılığı olabileceği gibi, belki de, yerkazı aracının dönüş açısının 90 ° den bir iki derece daha küçük olması da olabilir, zira ölçme düzeneğinde açı izleme düzeneği yoktu.

Altı yılın ortalama değerleri sonucuna göre, yerkazı aracı etkinliği değeri DL1(73/15) çekme kepçe için 0,50, DL2(72/31) çekmekepçe için ise 0,47'dir. DL1(73/15) makinanın ötekinden altı yıl daha yaşlı olmasına karşın araç etkinliği değerinin yüksek çıkması kanımızca bu çekmekepçenin denge-dayanıklılık oranının (çalışma ağırlığı kova kapasitesi oranı) daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu tür ölçüm ve kayıtlardan, en uygun basamak kalınlığının belirlenmesinde, kazı diliminde kaya parçalanış durumunun saptanmasında, yeni

örtükazı panolarında enerji tüketimi bileşeninin öngörülmesinde, çekmekepçe üretkenliğinin belirlenmesinde yararlanılabilir.

## KAYNAKLAR

Young, R.P. ve Hill, J.J., 1985; "Seismic characterization of rock masses before and after blasting". 26<sup>th</sup> U.S. Symposium on Rock Mechanics, Rapid City, U.S.A., 1151-1158.

Özdoğan, M., 1984; "Çekmekepçe (dragline) örtükazı yöntemleri ve Tunçbilek uygulaması" Madencilik, **23(2)**, 25-42.

Özdoğan, M., 2002a; Interactive Energy Consumption Parameters of Walking Draglines in Turkish Coal Mines. Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, s.143 (Yayımlanmamış).

Özdoğan, M., 2002b; "Elektrikli yer kazı makinalarının kazı gücü etkileyicileri ve karşılaştırma ölçütleri", Madencilik, **41(4)**, 3-10.

Özdoğan, M., 2003; "Elektrikli yer kazı makinalarında özgül enerji tüketimi ve kazı zorluğu sınıflaması" Madencilik, **42(2)**, 3-10.

Özdoğan, M. and Özgenoğlu, A., 2009; "Payload estimation of a walking dragline- a case study", Balkanmine, Proceedings of 3<sup>rd</sup>. Balkan Mining Congress, İzmir, 171-175.

Özdoğan, M., 2010; "Çekmekepçeli yer kazarlarda yürüyüş ve kazı enerjisi tüketimi- a case study", Türkiye 17. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 291-300.

Talay, T., 2010; Kişisel görüşme, GLİ, Tunçbilek, Kütahya.