

Küçük Ölçekli Madencilikte Tekerlekli Yükleyiciler için Ekonomik Taşıma Mesafesi

T. Mallı, C. O. Aksoy & H. Köse
Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir-Türkiye

ÖZET: Madencilik endüstrisinde yeni eğilim, dinamik kararlar yardımıyla birim maliyeti düşürmek yönünde optimal çözümlerin bulunmasıdır. Bu nedenle, makine-ekipman seçimi yapılırken, bunların çalışma limitlerinin detaylı olarak belirlenmesi çok önemli bir parametredir. Taşıma mesafesi, kapasite, yükleme-taşıma-boşaltma maliyetleri madencilik operasyonlarında önemli yere sahiptir. Bu çalışmada, tekerlekli yükleyicinin tek başına kullanılması durumunda ekonomik taşıma mesafesinin bulunması amacıyla, değişik kepçe hacimlerdeki yükleyicilerin tek başına ve aynı yükleyiciler ile değişik kapasiteli kamyonların birlikte kullanılması durumundaki maliyetler, oluşturulan bir model ile hesaplanmıştır. Oluşturulan model çalışmadan elde edilen hesaplamalar sonucunda tekerlekli yükleyicilerin (doldur-laşı-boşalt) ekonomik taşıma mesafesinin yükleyici-kamyon alternatiflerine göre 60-260 m arasında değiştiği belirlenmiştir.

ABSTRACT : The new trend in mining industry is to find optimal solutions to decrease the unit cost with the help of dynamic decisions. For this reason, it is a very essential parameter that the working limits of machine-equipment should be determined in detail. Transport distance, capacity, loading-hauling-dumping costs play a great role in mining operations. In this study, in order to find the haulage distance in case a single wheel loader is used, the costs for the situations in which trucks of different capacities are together used with loaders at diverse bucket volume, a model is established. At the end of calculations that are derived from the model studies, it was determined that the economic transport distance of wheel loaders (load-haul-dump) vary between 60-200 m depending on the loader-truck selection.

1. GİRİŞ

Dünya madencilik endüstrisindeki gelişmeler ve üretim artışları büyük kapasiteli yükleme ve taşıma araçlarının kullanımı ile olanaklı hale gelmektedir. Birim maliyeti düşürmek daha büyük kapasiteli, daha hızlı ve teknolojik olarak daha gelişmiş ve iyi donatılmış makine-ekipman uygulamaya sokulmasını zorunlu kılmıştır (Surlül, 1988). Madencilikte makine-ekipmanın seçimi, birim maliyeti etkileyen en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Teknik kullanılabilirlik, ekonomik hedefler, performans ve iş güvenliği gibi parametreler de bu değerlendirmenin içine dahil edilmelidir. Makine-ekipmanın kapasitelerinin artmasıyla birlikte bunların hareket kabiliyetleride azalmaktadır. Bununla birlikte kapasitelerin küçük olması hareket kabiliyeti artarken İşletme birim maliyetleri de yükselmektedir. Bu nedenle, çalışmanın yapılacağı ocak için teknik ve ekonomik

parametreler birlikte düşünülmelidir. Makine-ekipmanların seçimi aşamasında, ekonomik çözümü bulmak için matematik ve mühendislik uygulamaları prensiplerine uygun olarak kesin verilerin kullanılması gerekmektedir (Koehler, 1980).

2. TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ VE YÜKLEME PERFORMANSI

Tekerlekli yükleyicilerin hareket kabiliyetlerinin yüksek olması ve sağladığı avantajlarıyla madencilik sektöründe daha çok kullanılır hale gelmiştir, Teknolojideki gelişmeler ile birlikte, artan yükleme kapasiteleri ve kamyonun yavaşlama şekline göre hareket edebilmesi, yükleme işinde bu makinelerin kullanımını ekskavatörlere göre artırmaktadır, Harmanlama aşamasında ve değişik aynalarda çalışmanın gerektiği durumlarda, tekerlekli

yükleyiciler daha fazla esnekliğe sahiptir (World Mining Engineering, 1998). Büyük yükleyicilere göre düşük yatırım maliyetine sahip olmasından dolayı küçük ölçekli ve kısa ömürlü madencilik işletmelerinde taşıyıcı olarak ve kamyon yüklemelerinde birincil yükleyici olarak kullanılırken, büyük madencilik operasyonlarında da ekskavatörler ile kombinasyonları kullanılmaktadır.

Yükleme periyodu, parçalanma ve parça boyutu, malzemenin kabarma faktörü, yükleme sayısı ve işyeri verimi gibi faktörler tekerlekli yükleyicilerin yükleme performansını etkilemektedir (Atkinson, 1992). Yükleme periyodu, kepçenin doldurulması, kaldırılması, dönmesi ve boşaltılması aşamalarından ve tekrar ilk pozisyonadaki durumunu almasından oluşur. Patlatma verimi ve bunun sonucunda oluşan parça dağılımı kolay yüklemeye yapılması ve dolayısıyla yükleme süresinin kısalması açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, patlatılmış malzemenin boyutu yükleme işleminin maliyetini de yaklaşık olarak %5-10 oranında etkilemektedir (Doktan, M., 2000).

Kepçe dolum faktörü, fiili kapasitenin teorik kapasiteye oranı olarak tanımlanmakta ve parçacık geometrisi ve boyutuna bağlıdır. Malzemenin boyutu küçüldükçe kepçe dolum faktörü ve faydalı kapasite artmaktadır. Dolum faktörüne, operatörün deneyimi, malzemenin kepçeye yüklenme açısı ve parça boyutu gibi parametrelerde etki etmektedir.

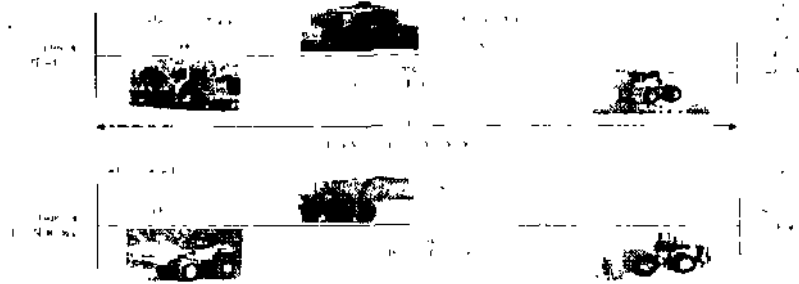
Yükleme sayısı, kamyon kasa hacminin kepçe kapasitesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu oran azaldıkça yükleme periyodu kısalmakta ancak oluşan vibrasyondan dolayı operatörün sağlığı ve

kamyonun ekonomik ömrü kısalmaktadır (Berezan, Joseph, ve Del Valle, 2004). Yükleme sayısı bu yükleyiciler için 3-4'den daha büyük olmalıdır (Eskikaya, 1986).

Genellikle kamyon-tekerlekli yükleyici kombinasyonlarında, taşıma döngü süresi yükleme döngü süresinden daha fazla olduğu için aynı kamyonun birkaç yükleyici tarafından yüklemesi de sözkonusu olabilir (Aksoy, 2000).

3. MODEL ÇALIŞMA

Bu model çalışmada, herhangi bir küçük ölçekli açık işletmede patlatılmış malzemenin taşınmasında sadece tekerlekli yükleyici kullanılması durumunda (doldur-taşı-boşalt yöntemi) elde edilen yükleme-taşıma-boşaltma-geri dönme birim maliyetleri toplamı, aynı malzemenin aynı referans noktasından tekerlekli yükleyici ile kamyonla doldurulup nakledilmesi sonucu elde edilen yükleme-taşıma-boşaltma-geri dönme birim maliyetlerinin eşitliğinden yola çıkarak tekerlekli yükleyicinin ekonomik taşıma mesafesi değişik makine-ekipman seçimlerine göre belirlenmiştir. Bu modelde, tekerlekli yükleyicilerin saatlik yükleme kapasiteleri, kamyonların saatlik taşıma kapasiteleri ve bu makinelerin döngü süreleri, işletme maliyetleri (enerji, yakıt ve yağ tüketimi, işçilik), yatırım maliyetleri (amortisman, faiz, sigorta, vs), işyeri verimi gibi faktörler hesaplamalara dahil edilmiştir. Şekil 1'de tekerlekli yükleyici ve kamyonla kombinasyonunun genel döngü aşamaları ve taşıma mesafesi iki ayrı sistem için verilmiştir.



Şekil 1. Genel Çevrim Aşamaları ve Taşıma Mesafesi.

Modelde, sadece tekerlekli yükleyici için yükleme, taşıma, boşaltma, geri dönüş ve manevra süreleri gözönüne alınırken, tekerlekli yükleyici-kamyon kombinasyonunda tekerlekli yükleyicinin malzemeyi kamyonla yüklemesi, kamyonun malzemeyi taşıması, boşaltması, geri dönmesi ve manevra süreleri modele dahil edilmiştir. Makinelerin dolu gidiş ve

boş dönüşleri mesafeye, eğime, yolun yuvarlanma direncine, maksimum hıza ve makinelerin bu işlemleri yaparken dolu ve boş ağırlıklarına bağlıdır. Yolun yuvarlanma direnci ve yol eğimi dolu gidiş ve boş dönüş sürelerini etkilemektedir. Ayrıca, makinelerin hızları aynı makinelere ait performans çizelgelerinde elde edilmiştir (Caterpillar

Performance Handbook, 1998). Çizelge 1 ve 2'de verileri görülmektedir. tekerlekli yükleyicilerin ve kamyonların teknik

Çizelge 1. Tekerlekli Yükleyici Tipi ve Teknik Değerleri

Özellik	Yükleyici Kepçe Hacimleri (m ³) ve Teknik Verileri					
	1,1	2,37	2,83	3,5	5,04	7,99
Döngü Süresi (sn)	10,9	10,2	10,7	11,5	15,2	15,9
İşyeri Verimi	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Makin a Verimi	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Maksimum Hız (km/h)	35	35,9	40,5	38,8	35,1	20,2
Dolu Hız (km/s)	20	21,9	24,5	22,5	20,7	11,9
Akaryakıt Tüketimi (l/h)	12	20	25,5	35	63	120,5
Yat. ve diğer işletme gtd(\$/h)	15	25	31	41	81	125
Toplam Gider (\$/h)	31,2	52	65,43	88,25	166,05	287,68

Çizelge 2. Kamyon Tipi ve Teknik Özellikleri

Özellik	Kamyon Kasa Hacimleri (m ³) ve Teknik Verileri		
	24,2	35,5	41,5
Yüklü Kapasite (m ³)	24,2	35,5	41,5
İşyeri Verimi	0,83	0,83	0,83
Makin a Verimi	0,90	0,90	0,90
Dolu Hız (km/h)	42	40	34
Maksimum Hız (km/h)	75	66	65
Akaryakıt Tüketimi (U/h)	54	60,5	65,5
Yat. ve diğer işletme giderleri (\$/h)	45	61	63
Toplam Gider (\$/h)	117,90	142,68	151,43

Modelde birim yükle-taşı-boşalt maliyetleri ayrı ayrı yalnız tekerlekli yükleyici kullanılması ve yükleyici-kamyon metodunun kullanılması durumları için hesaplanmaktadır. Buradan eşitlik durumunu sağlayacak maksimum ekonomik taşıma mesafesi, L bulunmuştur. Ekonomik taşıma mesafesi, tekerlekli yükleyici yükleme-laşıma ve kamyon taşıma kapasiteleri, bu mesafedeki çevrim zamanları

ve her döngüde oluşan birim işletme maliyetlerinin bir optimizasyonudur.

Kamyon ve tekerlekli yükleyicinin bir arada kullanıldığı durumlarda yükleyicinin yükleme kapasitesinin kamyonun saatlik kapasitesine eşit veya biraz yüksek olması en uygun durumdur. Bu durum, aşağıda verilen 1, 2 ve 3 nolu formüller için de uygunluk şartıdır.

$$(C_{yükleyici}) = (C_{yükleyici-kamyon}) \quad (1)$$

$$C_{yükleyici} + C_{taşıma} + C_{boşaltma} + C_{geri dönüş} = C_{yükleyici} + C_{taşıma} + C_{boşaltma} + C_{geri dönüş} + C_{tekerlekli} \quad (2)$$

$$\frac{C_{yükleyici} \times \frac{60}{CT_{yükleyici}}}{Q_{yükleyici}} = \frac{C_{yükleyici-kamyon} \times \frac{60}{CT_{kamyon}}}{Q_{kamyon}} \quad (3)$$

Burada,
 C_{yükleyici} :Yükleyici Döngü Maliyeti(Vçev),
 C_{yükleyici-kamyon} :Yükleyici-Kamyon Maliyeti(\$/çev),
 CT_{yükleyici} :Yükleyici Döngü Süresi(dk),
 CT_{kamyon} : Kamyon Döngü Süresi(dk),
 Q_{yükleyici} :Yükleyici kapasitesi (m³/h)
 Q_{kamyon} : Kamyon taşıma kapasitesi (m³/h)

Makinelerin kapasitelerinin seçiminde yapılması gereken saatlik üretim miktarı (m³/saat) önem arz etmektedir. Bu da basit olarak makinelerin bir döngüde kaldırabileceği malzeme miktarı ve saatlik döngü sayısı ile eşitlenerek bulunabilir. Tekerlekli yükleyicinin kamyonu tam olarak doldurması gerekmektedir. Tekerlekli yükleyicinin kepçe hacmi

ve kamyonun kasa kapasitesine bağlı olarak yükJeme sayıları Çizelge 3'de verilmektedir.

Kamyon Kasa Hacimleri (m ³)	Tekerlekli Yükleyici Kepçe Hacimleri (m ³)					
	M	2,37	2,83	3,5	5,04	9,39
24,2	23	11	9	7	5	3
35,5	33	15	13	11	8	4
41,5	38	18	15	12	9	5

Döngü süresi doğrudan yükleme, V-şeklinde yükleme ve yükle-taşı-boşalı gibi alternatiflere göre değişmektedir. Bu model çalışmada, kamyon-tekerlekli yükleyici kombinasyonu için daha kısa zamanda yükleme yapıldığı için doğrudan yükleme metodu seçilirken, yükle-taşı-boşalt tipi sadece tekerlekli yükleyicinin seçildiği alternatiflerde kullanılmıştır.

3 nolu formülde yeralan çevrim zamanlarının açılımı yapıldığında; maksimum taşıma mesafesi elde edilmektedir. Farklı kamyon-tekerlekli yükleyici kombinasyonları için, maksimum ekonomik taşıma mesafeleri (L) Çizelge 4'de verilmiştir. Sonuçlara göre tekerlekli yükleyici kombinasyonları, alternatiflere göre 59,85-256.96 m limit değerlerinde ekonomik gözükmektedir.

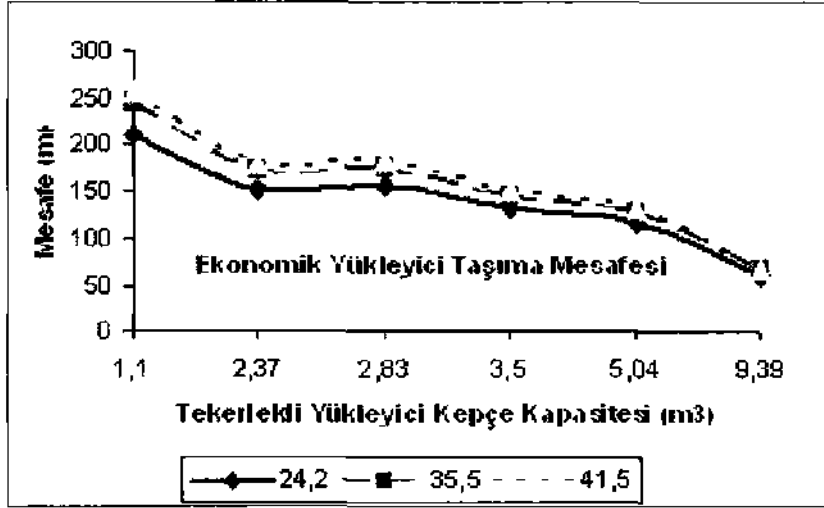
Kamyon Tipleri ve Kasa Hacimleri (m ³)	Tekerlekli Yükleyici Tipleri ve Kepçe Hacimleri (nr ³)					
	1,1	2,37	2,83	3,5	5,04	9,39
24,2	211,12	151,58	156,3	131,31	117,49	59,85
35,5	243,99	172,43	174,86	144,29	126,83	64,92
41,5	256,96	179,99	1&2,82	155,11	131,51	66,99

4. MODEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Açık işletme madenciliğinde yükleme-taşıma İşlemleri için makine-ekipman seçimi temel ve oldukça kompleks kararlar içermektedir. Bu kararların verilmesinde makine teknik verileri ve maliyetleri ile ilgili pekçok bilgi toplayıp, sayısal hesaplamaların yapılması gerekmektedir.

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, küçük kepçe hacimli tekerlekli yükleyici ve yüksek kasa hacimli kamyonların oluşturduğu kombinasyonlarda yükleme sayısının yüksek olması nedeniyle bu gibi

durumlarda sadece tekerlekli yükleyicinin kullanılması ekonomik taşıma mesafesini tekerlekli yükleyici lehine artırmaktadır. Tekerlekli yükleyici-kamyon kombinasyonlarında yükleme sayısı arttıkça tekerlekli yükleyicinin ekonomik mesafesi artmaktadır. Şekil 2'de yükleyici kepçe hacmi ve kamyon kasa hacmine göre elde edilen mesafeler verilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, tekerlekli yükleyicinin ekonomik mesafesi, farklı tekerlekli yükleyici-kamyon alternatiflerine göre 59.85 - 256.96 m arasında değişmektedir.



Şekil 2. Tekerlekli Yükleyiciler İçin Farklı Yükleyici Kapasitelerinde Ekonomik Taşıma Mesafeleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uygun yükleyici-kamyon eşleşmeleri ile optimize edilmiş madencilik aktivitelerinin İrdelenmesi maliyetleri düşürmeye yardımcı olacaktır. Bu nedenle madencilik operasyonlarında birim maliyetleri düşürmek için teknik açıdan uygulanabilirliği olan her bir makine-ekipmanın kapasiteleri iyi bir şekilde analiz edilmeli ve ekonomik durumları incelenmelidir. Bu çalışmada, taşıma mesafesinin kısa olduğu durumlarda sadece tekerlekli yükleyici (yükle-taşı-boşalt) kullanılması birim maliyeti belirli mesafeler için düşürmekle olup, daha uzun mesafelerde tekerlekli yükleyici-kamyon veya diğer kombinasyonların seçilmesi zorunlu olmaktadır. Bu ekonomik sınır değeri, yükleyici ve kamyon kapasiteleri ile alternatiflerin değerlendirilme koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

KAYNAKLAR

Atkinson, T.. 1992. "Selection and Sizing of Excavating Equipment". SME Mining Engineering Handbook, A [ME], pp. 1311-1333.

- Aksoy, M-. 2000, "Selection of Open Pit Mine Machinery", PhD thesis, Dokuz Eylül University. Graduate School of Natural and Applied Science, pp. 35 -49
- Berezan, J.J., Joseph. T.G. and del Valle, V.D.. 2004. Monitoring Whole Body Vibration Effects on Ultra-Class Haulers. CIM Bulletin, Vol: 97. No: 1082.
- Caterpillar Performance Handbook. 1998. Caterpillar Inc., Illinois.
- Doktan, M., 2000., "Impact of Blast Fragmentation on Track Shovel Fleet Performance". 17. International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, pp. 375-379.
- Eskikaya, Ş., 1986, "Productivity Analyses of Work Machines". Technology and Application Development Project, Istanbul Teknik Üniversitesi.
- Koehler, S.S.. 1980, Mining Methods and Equipment. Montana College of Mineral Science and Technology. Montana.
- Köse. H ve diğerleri. 2000, "Açık İşletme Tekniği". Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları. İzmir, pp. 96
- Morgan. B., 2000. "Cost Effective Equipment Applications /tones". Mine Planning and Equipment Selection, pp. 323-328.
- Surtill. R.K.. 1988. Surface Mine leaders Get Bigger. Stronger. Smarter and Faster. Engineering and Mining Journal.
- Woof, M.. 1998. The Motherload. World Mining Equipment.

