

## **KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BİR AÇIK OCAK KÖMÜR İŞLETMESİNDE DEKAPAJDA KULLANILAN EKİPMANLARIN VERİMLİLİK ANALİZİ**

### **AN EFFICIENCY ANALYSIS OF EQUIPMENT USED FOR STRIPPING IN SMALL SCALE OPEN PIT COAL MINE**

N TOKGOZ

İÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, istanbul

A. KESİMAL

İÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, istanbul

**ÖZET** Açık ocak komur madenciligi çalışma koşullarından gerek ortu - kazı oranında süregelen artış, gerekse uretm çalışmaJan sırasında kazı - yükleme - taşımıcılık alanlarındaki giderlenn, birim üretim mahyetlennden aldığı yüzde paylann yüksek mertebelerde olması, zorunlu olarak üretici firmaları, verimlilik ile ilgili faktör ve parametrelerin irdelenmesine yöneltmiştir. Daha genel bir anlatımla, optimizasyon için verimlilik analizim • gerekli kılmıştır Buradan hareketle, bir açık ocak kömür işletmesinde kullanılan iş makinalannın (ekskavatör, loder, kamyon, dozer, greyder, vd ) verimlilikle ilgili karakteristik büyüklükleri ("mekanik mevcudiyet", "mekanik venm", vd.); "hipotetik model işletme" oluşturulmak suretiyle gerek ekipmanlar bazında gerekse bir sistem genelinde araştırılmıştır. Elde edilen verilere simülasyon yöntemi (OPSTCSIM) uygulanarak, ekskavatör- kamyon venmleri hesaplanmış, buradan da ideal kamyon sayısı belirlenmiştir- Son olarak, bir sistem genelinde seçilen ekipmanların kapital ve direkt işletme mahyetlen, net bugünkü maliyet değerine (NPCV) göre hesaplanmış, "teorik ve gerçekleşen" binm dekapaj maliyet değerleri arasında bir de kıyaslaması yapılmıştır

**ABSTRACT** Due to the increasing values of stripping ratios in open pit coal mining applications it has been observed that excavation, loading and transportation system have gained a great importance The expenditures and shares of this system in a mining operation have very high costs per unit of production. Therefore, mining companies must consider in detail related factors and parameters of equipment for efficiency. As a genera! rule, efficiency analysis is needed for optimisation of the system. Related characteristic parameters of equipment determined in an hypothetical open-pit coal mine model were used to calculate for efficiency considennng their utilities and availabilities Data estimated for this model were fed to a computer software program (OPSTCSIM) for simulation of a shovel-truck transportation system Finally, net present value of costs (NPCV) of these equipment was chosen as the final design regarding with their capital and direct operating costs and also a comparison between their actual and theoretical net presem value of costs was made.

## **1 GİRİŞ**

Gerek maden gerekse inşaal sektörüne katma değer üreten küçük-orta-büyük ölçekli • işletmelerde "kullanılabilirlik" ve "yararlanma venmı" kavramları.

- Venmliliğin saptanmasında,
- Ekipmanların seçiminde,
- işletme maliyetlerinin kontrolünde,

hayatı öneme sahip karakteristik değerlerdir Diğer bir deyişle, yüksek mertebedeki kullanılabilirlik ve yararlanma venmı, ekipmanlarda veya bunlara bağlı olarak oluşturulacak sistem genelinde "yüksek

venmlilik" ile beraberinde daha "düşük" düzeyde binm işletme maliyeti getirebilmektedir.

Sözkonusu bu ıkı büyüklüğün bir model işletme bünyesinde verimlilik analizlen, gerek ekipman gerekse bir sistem genelinde araştırılmıştır Yennde gerçekleştirilen zaman olcum verileri, OPSTCSIM bilgisayar paket programı yardımıyla bu sistemin simülasyon unda kullanılarak optimum kamyon sayısı belirlenmiştir Ayrıca, işletmede 1995 yılı sonundaki kapital ve direkt işletme maliyetleri hesaplanarak "teorik ve gerçekleşen" birim dekapaj maliyet değerlen (NPCV) gore değerlendirilmiştir

2 MALVF-ML VLYON I LM

2.1 Mekanik Mevcudiyet ve Mekanik Verim Büyüklüklerinin Tanımı

Madencilik ve İnşaat alanında yaygın olarak kullanılan iş makinalarının Icon ve uygulamalardaki verimlilik analizlerinde kullanılabilirlik ve yararlanma verim yanlış algılanıp değerlendirilmekte ve hatta bu iki kavram birbirine karıştırılabilmektedir. Bu durumu bir ölçüde elimine etmek açısından bu çalışmada yukarıda ,o/u edilen iki büyüklük

- Kullanılabilirlik - \* Mekanik Mevcudiyet  $M_m$  (Kullanıma hazır net mekanik büyüklük),
- > yararlanma verimi -> Mekanik Verim [M,] büyüklükleri olarak tanımlanmıştır

Yukarıda anılan bu iki temel büyüklüğün Tablo I de hesap yöntemi verilerek model seçilecek bir işletme için bir yıl içerisinde bu yönteme ait büyüklükler ile ilgili gerekli tüm kabuller yapılmıştır. Böylelikle ekipmanların yıllık periyodik bakımı ve onarım süreleri işletme tarafından her 125 saat için 48 dakika ve her 1000 saat için 1 gün olarak belirlenmiştir. Söz konusu işletmede yıllık programlanan 3000 (saat/yıl) çalışma süresinde 128 ve 1000 saatlik süreler için toplam 90 saatlik bir süre ekipmanların bakımı için harcanmaktadır. Nitekim bu çalışma çerçevesinde, her ekipman için ayrı ayrı saptanan mekanik mevcudiyet ve mekanik verim büyüklüklerinin hesabı sırasında, işletme kayıtlarından elde edilen arıza ve bakım (a+b) değerleri toplamına, yıllık periyodik bakım ve onarım için hesaplanan 90 saatlik bu süre de dahil edilmiştir.

Tablo-1 Makmalann "Mekanik Mevcudiyet" ile "Mekanik Verim" Büyüklüklerinin Hesap Yöntemi

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Formül      | $M = \left[ \frac{t_1 - (b + a)}{t_1} \right] \times 100 \text{ (\%)} \\ M = \left[ \frac{t_2 - (b + a)}{t_2} \right] \times 100 \text{ (\%)}         $                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Açıklamalar | <p>M Mekanik Mevcudiyet (%)<br/> M Mekanik Verim (%)<br/> k Yıllık hatalar (saat/yıl)<br/> t<sub>1</sub> Yıllık çalışma süresi (saat/yıl)<br/> t<sub>2</sub> Programlanan yıllık süre (saat/yıl)<br/> a Kullanıma hazır net mekanik süre (saat/yıl)<br/> b Kesip sökülebilen makinaların temizlik v.d. (saat/yıl)<br/> c Gerçekleşen net çalışma süresi (saat/yıl)<br/> d Çalışma süresindeki bakım süresi (saat/yıl)<br/> e Gerçekleşen arıza kayıtları (saat/yıl)</p> |

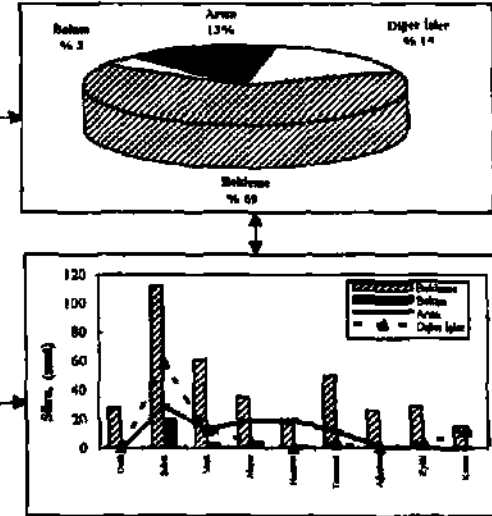
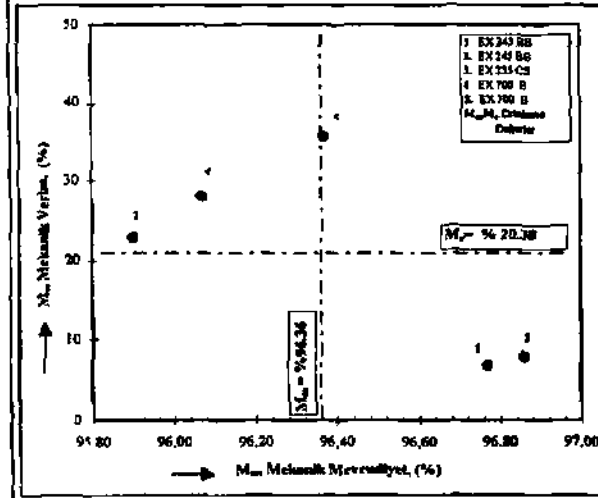
\* \* \* MıUM Olarak İsaHanıan Atık (kak Komu model olarak İasarlanıak İnelimye ha/ oluşturma.İ  
İ,klnu İ İh İll'İh Keiakiaisiik İnyul İıklu anı İıyla sayısal \ n 'anı.İh/İ İlt İİİ' ( İludırİnİsİ

Hu çalışmanın gerçekleştirilniLıSİ SIMMIH! İ dekapı.  
çalışmalarını İııduren bu açık İKak konun İsletmesi



Tablo 2. Ekskavatörlere Çalışma Süreleri ve Verimlilik Analizleri

| Tip ve Kodu     | Çalışma Süresi (saat/yıl) | Toplam süreler, (saat/yıl) |           |           |             |             | Mekanik Mevcudiyet, $M_m$ , (%) | Mekanik Verim, $M_v$ , (%) | Açıklamalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                           | Bekleme                    | Bakım     | Arıza     | Diğer İşler | Net         |                                 |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| EX 245 BB       | 290                       | 44                         | 0         | 6         | 33          | 207         | 96,80                           | 7,10                       | $M_m = [(t_{yr} - (b_y + a)) / t_{yr}]$<br>$M_v = (t_n) / [t_{yr} - (b_y + a)]$<br>$t_{yr}$ = Yıllık toplam çalışma süresi, (saat/yıl)<br>$t_n$ = Net çalışma süresi, (saat/yıl)<br>$t_n = (t_{yr} - (b_y + a))$<br>$b_y$ = Yıllık bakım süresi, (saat/yıl)<br>$a$ = Yıllık arıza süresi, (saat/yıl)<br>$b_y = (Bölü çalışma süresi) + (Bakım + Arıza + Diğer işler)$<br>$a$ = Yıllık arıza süresi, (saat/yıl)<br>$b_y$ = Yıllık Bakım Süresi, (saat/yıl) (Bu hesaplar 1000 saat için)<br>İşler, periyodik bakım süresi dışında, 125 saat için 65 dak.<br>(1000 saat için) günlük çalışma (toplam "100 saat") alınmıştır. |
| EX 245 BB       | 826                       | 120                        | 3         | 30        | 11          | 662         | 95,90                           | 22,66                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| EX 235 CS       | 378                       | 98                         | 2         | 6         | 26          | 246         | 96,73                           | 8,48                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| EX 700 B        | 930                       | 80                         | 6         | 24        | 2           | 808         | 96,00                           | 28,06                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| EX 700 B        | 1176                      | 100                        | 4         | 15        | 28          | 1029        | 96,37                           | 35,59                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>TOPLAM</b>   | <b>3600</b>               | <b>442</b>                 | <b>15</b> | <b>81</b> | <b>100</b>  | <b>2932</b> | <b>491,8</b>                    | <b>101,89</b>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Ortalama</b> | <b>720</b>                | <b>90</b>                  | <b>3</b>  | <b>17</b> | <b>20</b>   | <b>590</b>  | <b>96,36</b>                    | <b>28,38</b>               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |



Tablo 3. çerçevesinde yer verilmiştir. Tablodan elde edilen önemli değerlendirmeler ise şöyle sıralanabilir

- Ekipmanların genel olarak (dozer hanemde) "M<sup>m</sup>" büyüklükleri, %92.85 - %96.74 gibi yüksek sayılabilecek bir düzeydedir. Nitekim, standart sapma değerlerinin %0.12-%0.41 ve değişkenlik katsayılarının %0.12-%1.98 değerlen alması, bu büyüklük ile ilgili değişim aralıklarının yukarıda belirtildiği gibi birbirlerine çok yakın değerler almasıyla açıklanabilir. Diğer bir anlatımla, yıl içinde fiili olarak gerçekleşen "arıza ve bakım sürelerinin" toplam çalışma süresinden %2 - %10 arasında bir pay alması, net kullanıma hazır mekanik mevcudiyet büyüklüğü değişimini fazla etkilememektedir. Yardımcı iş makinelerinden dozerde ise söz konusu bu büyüklüğün M<sub>0</sub> = %73.56 - %88.60 aralığında değişimi diğer mevcut ekipmanlar için hesaplanan "M<sub>0</sub>" mertebelerine göre farklılık gösterdiği "arıza ve bakım sürelerinin" toplam çalışma süresinden %10.3 - %30.1 arasında bir pay alması ile değerlendirilebilir (Tablo-2)

Ekipmanların ortalama "M<sub>v</sub>" büyüklük değerlerinin %5.95 - %46.70, standart sapma değerlerinin %3.04 - %12.38 ve değişkenlik katsayılarının da %22 - %69.5 arasında değişen değerler aldığı, saptanmıştır. Burada özellikle, standart sapma ve değişkenlik katsayılarının yüksek oluşu, "net çalışma sürelerini doğrudan etkileyen ve ekipmanlara yeterince iş verilemeyişi" sonucu artan "bekleme süreleri" değerlerindeki dalgalanmalar ile açıklanabilir.

Dekapajda, "Ekskavatör-Kamyon<sub>(volvo)</sub>", kömürde ise, "Loder - Kamyon (mercedes)" ekipmanları bir "sistem" olarak ele alındığında, "mekanik verim "M<sub>v</sub>" büyüklüğü mertebelerinin

$$\begin{aligned} \text{"Ekskavatör"} &\rightarrow M_v = \%20.36 - \text{Kamyon}_{(volvo)} \rightarrow M_v = \%31.10 \\ \text{"Loder"} &\rightarrow M_v = \%17.68 - \text{Kamyon}_{(mercedes)} \rightarrow M_v = \%5.95 \end{aligned}$$

gibi birbirlerine çok yakın değer almaları dikkat çekicidir. Söz konusu bu değerler, açık işletmelerde bu tür analizlerin, sistemdeki ekipmanların çalışma sırasında, birbirleri ile süreklilik gerektirdiği ve mekanik verim hesaplamalarında, ekipmanların bir sistem olarak da mutlaka değerlendirilmeleri gerektiği yönünde önemli bir sonuçta işaret etmektedir. Dozer ve greyderde ise, "M<sub>v</sub>" büyüklüğü standart sapma ve değişkenlik katsayısı bazında S<sub>0</sub> = %10.63 - S<sub>v</sub> = %0.68, V(u) = %13.12 - V<sub>0</sub> = %0.73, "M<sub>v</sub>" büyüklüğü ise S<sub>0</sub> = %10.74 - V<sub>0</sub> = %23 hesaplanmıştır. Söz konusu "M<sub>v</sub>" büyüklüğü greyder

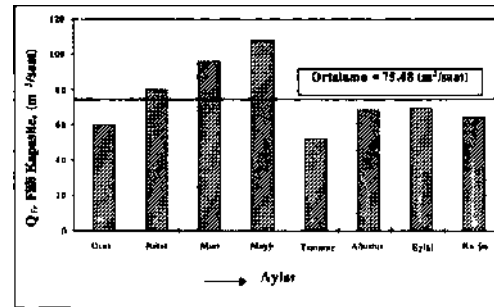
çim, gerek veri yetersizliği gerekse mertebedeki dalgalanmanın sağlıklı bir değerlendirmeyi negatif yönde etkileyebilirliği düşüncesinden harekete, istatistiksel analiz yöntemiyle değerlendirme dışında bırakılmıştır. Ayrıca, incelenen bu konunun bütünselliğini sağlamak üzere; gerçekleşen bu çalışma süreleri, Mekanik Verim büyüklüğü açısından "teorik bazda", diğer bir anlatımla, model işletmenin yıllık programlanan çalışma süresi olan 3000 saate göre hesaplandığı da ise,

$$\begin{aligned} \text{"Ekskavatör"} &\rightarrow M_v = \%79.50 - \text{"Kamyon}_{(volvo)} \rightarrow M_v = \%83.51 \\ \text{"Loder"} &\rightarrow M_v = \%49.20 - \text{"Kamyon}_{(mercedes)} \rightarrow M_v = \%52.63 \end{aligned}$$

olarak elde edilmiştir. Dikkat edileceği üzere; öngörülen değerler teorik değerlerden (ideal şartlarda olması gereken değerler) gerek "sistem" gerekse "ekipman" bazında %70-%85 oranında farklılık göstermektedirler.

### 3.1 Fiili Kapasite ve Birim Taşıma Mesafesi Büyüklüklerinin Hesabı

Örtü malzemesinin döküm sahasına kamyonlarla nakledilmesi sonucu aylara göre "Fiili kapasite (QF)" büyüklüğü Şekil-1'de gösterilmiştir.

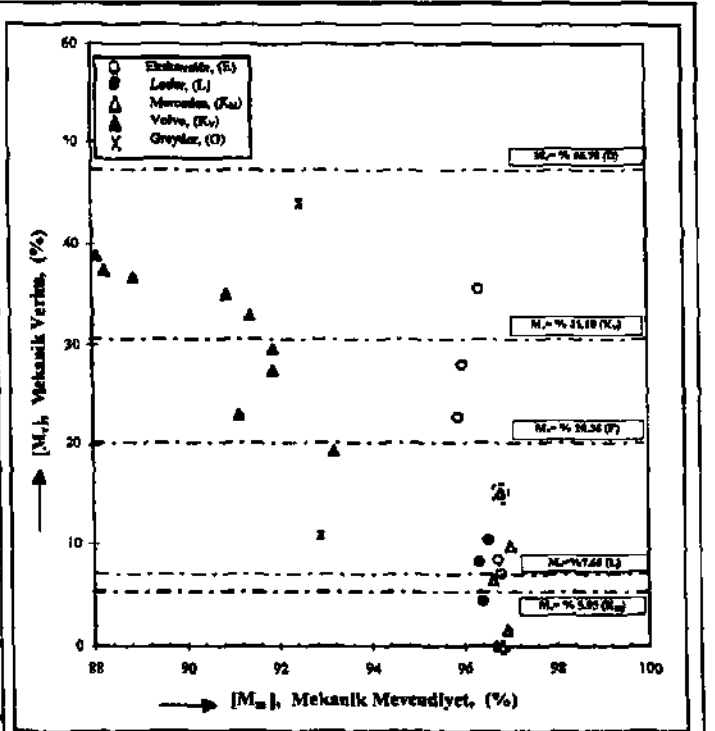


Şekil 1 Kamyonların Gerçekleşen Fiili Kapasite Değerleri

Bu ekipmanların işletmeye ilk alındığı yıl 1992 olduğu dikkate alındığında, söz konusu bu değeri, 4 yıllık kamyon kullanım ömrü için, oldukça düşük değerlendirilebilecek bir kapasite olduğu açıkça görülmektedir. Toplam 9 adet volvo kamyon genelinde öngörülen fiili kapasite ortalaması, 75.88 (m³/saat) olup, en düşük kapasite yaklaşık 55 (m³/saat) ile Temmuz ayında en yüksek kapasiteye, 105 (m³/saat) ile Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Ocak ayından başlayarak Mayıs ayına doğru %20-%25'lik oranlarla kapasite artışı dikkat çekicidir. Yine

Tablo 3 Hesaplanan Mekanik Mevcudiyet ( $M_m$ ), Mekanik Verim ( $M_v$ ) Büyüklüklerinin Tüm Ekipmanlar Bazında İstatistiksel Analizi

| Ekipmanlar                                | $M_m$<br>(%)                                                                                                                | $M_v$<br>(%) | $M_m$             | $M_v$             |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Flekovator<br>(E)                         | 96 80                                                                                                                       | 7 10         |                   |                   |
|                                           | 95 90                                                                                                                       | 22 60        | $\bar{x} = 94,38$ | $\bar{x} = 20,36$ |
|                                           | 96 73                                                                                                                       | 8 48         | $\bar{x} = 0,410$ | $\bar{s} = 12,38$ |
|                                           | 96 00                                                                                                                       | 28 06        | $\bar{v} = 0,43$  | $\bar{v} = 60,7$  |
|                                           | 96 37                                                                                                                       | 15 59        |                   |                   |
| Dozer<br>(L)                              | 96 40                                                                                                                       | 4 39         | $\bar{x} = 96,42$ | $\bar{x} = 7,68$  |
|                                           | 97 41                                                                                                                       | 10 10        | $\bar{x} = 0,117$ | $\bar{s} = 1,04$  |
|                                           | 96 33                                                                                                                       | 8 27         | $\bar{x} = 0,140$ | $\bar{v} = 19,6$  |
| kamyon<br>(Volvo)<br>(K <sub>v</sub> )    | 91 90                                                                                                                       | 27 45        |                   |                   |
|                                           | 91 20                                                                                                                       | 19 17        |                   |                   |
|                                           | 91 90                                                                                                                       | 29 49        |                   |                   |
|                                           | 88 27                                                                                                                       | 37 40        | $\bar{x} = 90,44$ | $\bar{x} = 31,10$ |
|                                           | 91 40                                                                                                                       | 32 90        | $\bar{s} = 1,790$ | $\bar{s} = 4,85$  |
|                                           | 88 90                                                                                                                       | 36 70        | $\bar{v} = 1,98$  | $\bar{v} = 22$    |
|                                           | 91 17                                                                                                                       | 22 85        |                   |                   |
| 90 90                                     | 15 02                                                                                                                       |              |                   |                   |
| 88 10                                     | 38 83                                                                                                                       |              |                   |                   |
| kamyon<br>(Mercedes)<br>(K <sub>m</sub> ) | 96 80                                                                                                                       | 0 5          |                   |                   |
|                                           | 96 63                                                                                                                       | 6 45         | $\bar{x} = 96,79$ | $\bar{x} = 1,93$  |
|                                           | 96 93                                                                                                                       | 1 58         | $\bar{x} = 0,12$  | $\bar{s} = 4,140$ |
|                                           | 97 00                                                                                                                       | 9 81         | $\bar{x} = 0,12$  | $\bar{v} = 69,5$  |
| 96 80                                     | 15 04                                                                                                                       |              |                   |                   |
| Dozer<br>(L)                              | 71 56                                                                                                                       | 54 30        | $\bar{x} = 81,08$ | $\bar{x} = 46,7$  |
|                                           | 88 60                                                                                                                       | 39 10        | $\bar{s} = 16,63$ | $\bar{s} = 10,74$ |
|                                           |                                                                                                                             |              | $\bar{v} = 13,12$ | $\bar{v} = 23,0$  |
| Greyder <sup>(*)</sup><br>(G)             | 92 37                                                                                                                       | 48 40        | $\bar{x} = 92,81$ |                   |
|                                           | 93 33                                                                                                                       | 12 40        | $\bar{s} = 0,68$  |                   |
|                                           |                                                                                                                             |              | $\bar{v} = 0,73$  |                   |
| Açıklamalar                               | (*) İstatistiksel Analiz<br>$\bar{x}$ = Ortalama Değer $\bar{s}$ = Standart Sapma<br>$\bar{v}$ = Değişkenlik Katsayısı, (%) |              |                   |                   |



Mercedes kamyon ile ilgili bu iki veri " $M_m$ " büyüklüğü açısından "akademik mükte" olarak kabul edilerek ortalamaya dahil edilmemiştir.

Greydere ait gerçek veri sırasındaki yetersizlik, gerçek veriler sırasındaki Mercedes farklılığından dolayı " $M_m$ " büyüklüğüne ayrı istatistiksel analiz uygulanmamıştır.

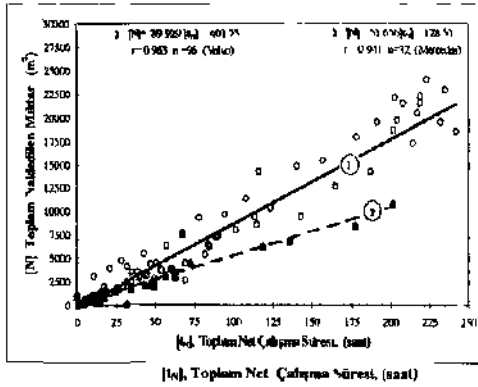
soz konusu aylar itibarıyla Ocak ayı dışında diğer ay için ortalama fiili kapasitenin üzerinde yer aldığı hemen farkedilmektedir

Kamyonların "toplam çalışma süreleri (tu)" ile "toplam nakledilen malzeme miktarları (N)" arasında toplam 128 adet veri gerek "volvo kamyon" (% adet ven), gerekse "mercedes kamyon" (32 adet ven) için aynı değerlendirmelerle yapılan regresyon analizlerinde, bu iki büyüklük arasında oldukça anlamlı sayılabilecek ,

$$N_{(volvo)} = 89\ 929 [t_u] - 401\ 05, (r = 0\ 963, n = 96) \quad (1)$$

$$N_{(mercedes)} = 51\ 456 [t_u] + 130\ 51, (r = 0\ 941, n = 32) \quad (2)$$

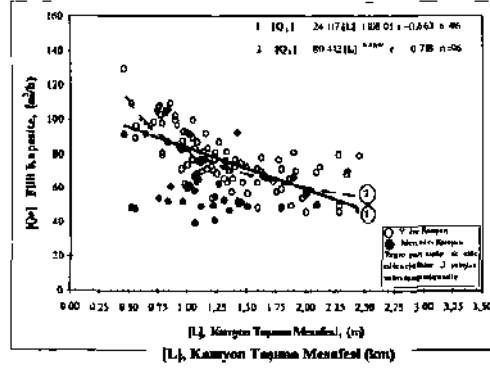
gibi doğrusal modelde pozitif korelasyon lu, bağıntılar elde edilmiştir (Şekil 2 )



Şekil 2 1995 Yılı Gerçekleşen "N"(m<sup>3</sup>) ve "V"(saat) Büyüklükleri Arasındaki İlişkilerin Regresyon Analizi

Gerek şekil gerekse yukarıdaki (1) ve (2)'nolu bağıntılardan da farkedileceği üzere, birim saatte nakledilen miktar, mercedes kamyonlarda volvolardakine oranla daha düşük mertebede gerçekleşmiştir. Nitekim, nakledilen malzeme miktarlarının volvo kamyonda 14.5 m<sup>3</sup> mercedes kamyonda ise 11 m<sup>3</sup> kamyon kasa hatimlerinde gerçekleştirildiği ve buna bağlı olarak da farklı taşıma kapasitelerine ulaşıldığı, elde edilen bağıntılardaki katsayılarından da açıkça görülmektedir.

Ayrıca, "QF" ve "L" büyüklüklerinin birbirleriyle olan ilişkileri, yine regresyon analizi yardımıyla Şekil-3'de araştırılmıştır.



Şekil-3 Kamyonlar Bazında "Fiili Kapasite QF" ile "Taşıma Mesafesi (L)" Büyüklükleri Arasındaki Regresyon Analizi

#### 4 VERİMLİLİK İLE İLGİLİ YAPILACAK OLCUM VE DEĞERLENDİRMELER

##### 4.1 Genel

Ekskavatör ve kamyon bir sistem olarak ele alındığında, bu ekipmanlarla ilgili olarak bekleme sürelerinde gerçekleşecek artışlar, işletmede üretkenliği olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Diğer bir anlatımla, azalan üretkenlik, genel işletme maliyeti üzerindeki artışı da beraberinde getirebilmektedir.

Kamyon sayısının gereğinden fazla artışı ekskavatör onunda uzun kuyruklar oluşmasına ve dolayısıyla kamyon veriminin düşmesine, kamyon sayısındaki azalma ise ekskavatörün uzun süre boşa beklemesine ve neticede söz konusu ekipmanın kullanım oranının düşmesine neticede bilinmektedir. Ekskavatör ve kamyon sisteminin sürekliliği açısından istenmeyen söz konusu bu durum ise, zorunlu olarak "optimum kamyon sayısının" belirlenmesi gereğine işaret etmektedir. Buradan hareketle, işletmede ekipmanların çalışmaları sırasında, yerinde zaman ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

##### 4.2 Yerinde Olcum Verilen ve Değerlendirilmesi

Kazı ve taşıma işlerinin verimli bir şekilde yapılabilmesi için ekskavatör ve kamyonun kazı ve taşıma sürelerinin (cycle time) önemi büyüktür.

Bu ölçümler sırasında ekskavatör için, kepçenin aynaya dibinden bağlayarak kazma, kaldırma ve dönüş hareketini tamamladıktan sonra kepçedeki malzemeyi kamyon kasasına boşaltmasından ilk konumuna

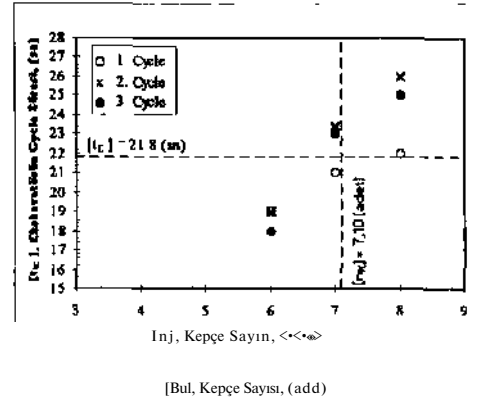
gelinceye kadar geçen süre 1 döngü (cycle) olarak esas alınmıştır

Kamyonlarda ise ölçüm sırasında, kamyonun 1 cycle'ı veya tur zamanı, ekskavatörün kamyonu doldurma zamanı, döküm sahasına gidiş ile boşaltma süresi, döküm sahasından donuş süresi ve ekskavatöre yanaşma sürelerinin toplamı olarak değerlendirilmelerde dikkate alınmıştır

Söz konusu bu ölçümler, dekapaj işleminin gerçekleştirildiği 10-12 m'lik basamakta kazı işlemi yapan, 4 m<sup>3</sup> kepçe hacimli 1 ekskavatör (Hitachi-700B) ile, taşıma işlemi yapan 14,5 m<sup>3</sup>lük kasa hacimli 3 adet volvo kamyonun, basamağa paralel olarak bir çalışma sistemi ortamında modellenmiştir. Büyük bir hassasiyetle gerçekleştirilen bu ölçümler sonucu elde edilen veriler Şekil 4.'de gösterilmiştir

Şekil dikkatlice incelendiğinde, şu önemli değerlendirmeler ön plana çıkmaktadır

Ekskavatörün kamyonu doldurduğu kepçe sayısı 6-8 arasındadır. Ortalaması ise 7 adet olarak hesaplanmıştır. Dikkat edileceği üzere, ekskavatörün kamyonu doldurması için gerekli kepçe sayısı yüksektir. Zira, kamyon seçiminde dikkat edilecek önemli bir nokta, ekskavatör kapasitesi ile iyi bir uyum içinde olmasıdır. Nitekim, ideal bir yüklemeye bir kamyon için en fazla 3-6 arasında değişen kepçe sayısı verilmektedir. Belirlenen ölçümlerin ise, bu ideal ölçü sınırlarını aştığı açıkça görülmektedir. Bu durum ise, kazı sırasında parça boyutunun artmasıyla kepçe dolma *faktörünün* azalması ile açıklanabilir



Şekil 4. Ölçüm Verilerinin Grafiksel Gösterimi

• Ekskavatörün cycle süresi, performans kitabından formasyon ve model işletme şartları esas

alınmak üzere yaklaşık olarak 18-26 sn arasında değişen değerler alınmıştır. Ortalaması ise 21.8 sn düzeyinde hesaplanmıştır. Bu büyüklüğün standart sapma değerleri 131, değişkenlik katsayısı ise, %6 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalardan da anlaşılacağı üzere, yapılan her üç adet ölçüm değerleri birbirleriyle meritebe yakınsaklığı içinde olup iyi bir uyum göstermektedir

• Ekskavatörün kepçe sayısı arttıkça, doğal olarak cycle süresi de artmaktadır. Kamyon boşta bekleme sürelerine neden olan bu artışa paralel olarak da kuyruk oluşumu da kaçınılmaz olabilmektedir.

• Elde edilen bu verilere OPSTCSIM paket programıyla simulasyon (Kesimal,1994) uygulanarak kamyon ve shovel verimi %84 ile uyuma faktörü (Match factor), "MF"= 1.25 'olarak hesaplanmıştır. Buradan elde edilecek optimum kamyon sayısı ise yaklaşık 3 olarak saptanmıştır. (Tablo 4.ve Şekil 5.)

Tablo 4. ölçüm Verilerinden Hesaplanan Baa önemli Büyüklükler

| Cycle Değerleri |           |           | Hesaplanan Büyüklükler |                         |                       | Uyuma   |
|-----------------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------|
| Shovel          | Kamyon    |           | Kamyon                 | Ekipman Verimi, "U" (%) |                       | Faktörü |
| Kepçe (adet)    | Süre (sn) | Süre (sn) | Sayı (adet)            | "U <sub>s</sub> " (%)   | "U <sub>k</sub> " (%) | "MF"    |
| 7.10            | 21.80     | 418       | 1                      | 13.73                   | 100.0                 | 0.370   |
|                 |           |           | 2                      | 50.16                   | 95.20                 | 0.741   |
|                 |           |           | 3                      | 77.66                   | 87.26                 | 1.111   |
|                 |           |           | 4                      | 98.62                   | 72.10                 | 1.481   |

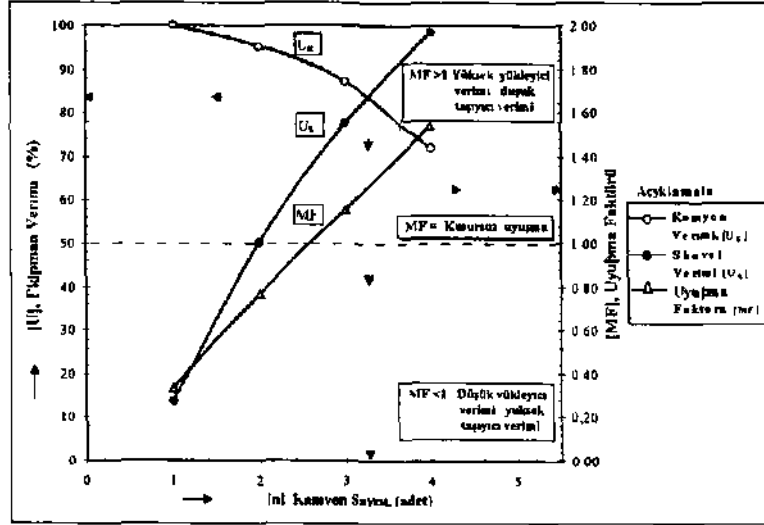
## 5. EKİPMAN VERİMLİLİKLERİNİN MALİYET ANALİZİ

### 5.1 Genel

işletmedeki fiili çalışma sürelerinden elde edilen mekanik verim değerlerinin, kazı, yükleme ve taşımacılık alanlarındaki ekipmanlarla ilgili giderlerin, birim üretim maliyetleri üzerindeki etkisi, gerek "kapital maliyet", "direkt işletme maliyetleri" açısından, ekipmanlar bazında ayrı ayrı incelenmiş ve bu bölüm başlığı altında konu edilmiştir. Ayrıca; bu büyüklüklerden "kapital maliyet + direkt işletme maliyet" değeri de hesaplanmak suretiyle, işletmenin

8 yıllık dinamik ömrü süresince ve (1995-2002 yılları arası) bu maliyet büyüklüğünün değişim değerleri, "net bugünkü maliyet değeri yöntemi" (net present cost value, NPCV) yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır





Şekil 5 "t = 1000 dakika Çalışma Süresine Göre Simulasyon Yöntemiyle Saptanan Kamyon Sayısı, Ekipman Verimleri ve Uyuşma Faktörü Büyüklüklerinin Optimizasyonu

## 5.2.2 Kapital Maliyet Hesabı

işletmenin kapital maliyet hesaplarında, ekipmanların işletmeye almış yılından (1992 yılı) itibaren 1995 yılına gelinceye dek geçen 3 yıllık süre sonundaki 'ekipman almış fiyatı' esas alınmıştır. Amortisman hesaplarında, ekipmanların ömrü her ne kadar 1992 (ekipmanların işletmeye almış yılı) yılından 1999 yılına kadar 7 yıllık bir süre baz alındıysa da, işletme şartlarında bu ekipmanların ömürlerinin 2002 yılına kadar çalışabileceği yaklaşımı burada esas alınmıştır.

- Ekipmanların hurda değerleri ise 2500 \$ olarak kabul edilmiştir.

## 5.3 Direkt İşletme Maliyet Hesabı

Ekipmanlardan ekskavatör, loder kamyon dozer ve greydere ilişkin direkt işletme maliyeti hesabı 1995 yılı içinde gerçekleşen "net çalışma süreleri" baz alınarak yapılmıştır. Direkt işletme maliyeti hesabı sırasında

- Yakıt (mazot, yağ),
- Malzeme (lastik+yedek parça ve bunların onarım - bakım işçiliği)
- İşçilik (operator, şoför)

gibi büyüklüklerden ortaya çıkan masraflar esas alınmıştır. Enerji giderleri ise, yalnızca malzemelerin onarım ve bakımlar sırasında giderleri içerdiğinden bu değer "lastik+yedek parça" ile ilgili giderlere dahil edilmiştir. Burada, "lastik + yedek parça" ile ilgili tüketim büyüklüğü ekipman kapital maliyetinin %8'i olarak kabul edilmiştir.

## 5.4 Maliyetlerin Net Bugünkü Değer Yöntemi ile Analizi

BIT yatırım projesinin net bugünkü değer, yatırımın ekonomik ömrü içinde sağlayacağı nakit girişlerinin önceden belirlenmiş bir faiz oranıyla bugüne indirgenmiş değerlerinin toplamı ile yatırımın yol açtığı nakit çıkışlarının aynı oranda bulunan bugünkü

toplam değerleri arasındaki farktır. Daha genel bir tanımla net bugünkü maliyet değer yöntemi, aşağıdaki matematiksel formül yardımıyla,

$$NPCV = FNV/(1+i)^n \quad (3)$$

venlebilir (Gurdoğan 1986, Degarmo vd 1984) Burada,

- NPCV - Net bugünkü maliyet değeri
- FNV - Gelecekteki net maliyet değeri

I = indirgeme oran (%)  
n = işletmenin ekonomik suresi (yıl)

tanımlamaktadır Matematiksel formülden de anlaşılacağı üzere, bir yatırımın net bugünkü maliyet değeri, "i" indirgeme oranı ve "n" yatırımın omni gibi değişkenlere büyük ölçüde bağlıdır

Kapital ve işletme maliyetleri işletmenin ekonomik omni 8 yıl, indirgeme oranları ise %10, %15 ve %20 sınırları arasında kabul edilmek üzere söz konusu bu maliyetlerin net bugünkü değeri ve işletmede bu süre içinde ortalama olarak gerçekleşen dekapaj değeri 705 000 m<sup>3</sup>/yıl esas alınarak, I yıldan (1995) 8 yıla (2002) kadar olan zaman dilimi

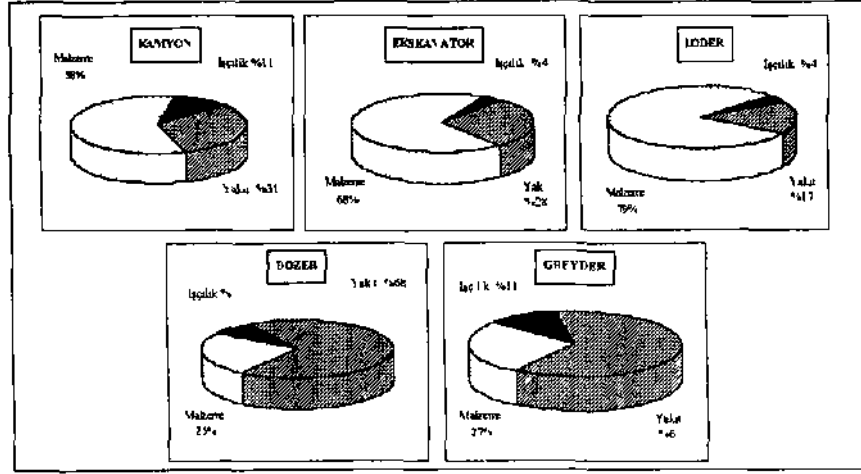
için "gerçekleşen maliyet" değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, incelenen konunun bütünselliğini sağlamak amacıyla, işletmede yıllık planlanan 3000 saatlik (3000 gün) süreyle göre dekapaj miktarı 2 500 000 m<sup>3</sup>/yıl yaklaşımdan hareketle işletmenin "teorik maliyet" değerleri de hesaplanmıştır (Tokgoz, 1996). Buna göre

$$\text{Bugünkü yatırım} = 1\,378 \text{ (\$/m}^3\text{)},$$

ortalama 2 500 000 m<sup>3</sup>/yıl için (ekonomik işletme omni 5 640 000 m<sup>3</sup> için yaklaşık 2 yıl 3 ay hesap edilmiştir)

Tablo 5 1995 Yılına İlişkin Ekipmanlar Bazında Gerçekleşen Direkt İşletme Maliyet Değerleri

| Büyüklikler | Kamyon (\$) |          | Ekskavatör (\$) | Loder (\$) | Dozer   | Greyder (\$) | TOPLAM (\$) |
|-------------|-------------|----------|-----------------|------------|---------|--------------|-------------|
|             | Volvo       | Mercedes |                 |            |         |              |             |
| Mazot       | 99 546      | 40 050   | 76 396          | 19 585     | 140 985 | 85 934       | 462 496     |
| Yığı        | 10 661      | 1853     | 5 509           | 1736       | 10 117  | 5 926        | 35 802      |
| Malzeme     | 194 400     | 72 0(H)  | 200 000         | 96 000     | 56 000  | 40 000       | 658 400     |
| İşçilik     | 25 882      | 12 867   | 12 108          | 4 722      | 16 126  | 16 085       | 87 790      |
| TOPLAM      | 330 489     | 126 770  | 294 013         | 122 043    | 223 228 | 147 945      | 1 244 488   |
| Ortalama    | 82 622      | 31 693   | 71 503          | 30 511     | 55 807  | 36 986       | 311 122     |



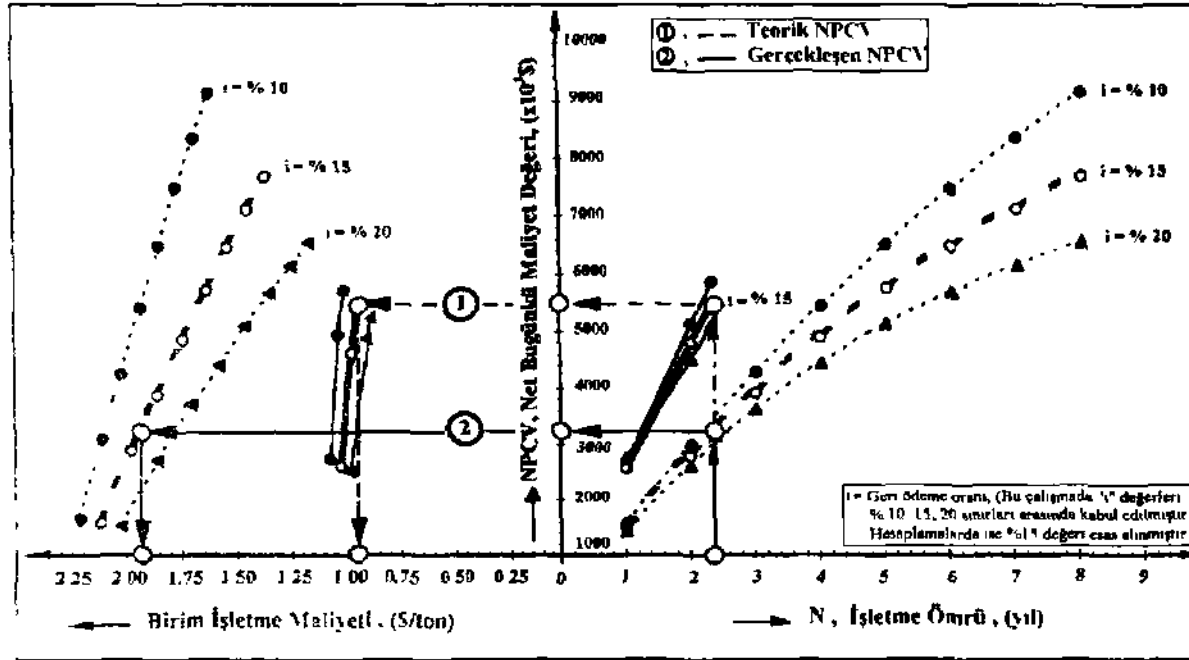
Şekil 6 Direkt İşletme Maliyet Değerlerinin Ekipmanlar Bazında % Dağılımları

$$\text{Optimum yatırım} = \text{Ü} 964 \text{ (\$/m}^3\text{)}$$

olarak elde edilmiştir

• Dekapaj miktarı 5 640 000 m<sup>3</sup>/yıl değeri ile 2 yıl 3 ay gibi işletme süresine göre yapılan

hesaplamalar sonunda indirgeme oranı  $i = \%15$  için teorik birim işletme maliyetleri 0 964 (i/m<sup>3</sup>) aynı işletme süresi (2 yıl 3 ay), aynı  $i$  değeri ve 705 000 m<sup>3</sup>/yıl olan dekapaj miktarı için gerçekleşen birim işletme maliyetleri ise 1 901 (S/m<sup>3</sup>)'de edilmektedir (Şekil 7)



Şekil 7. Gerçekleşen ve Teorik Bazda "İşletme Ömrü" - "Net Bugünkü Maliyet Değerleri" - "Birim İşletme Maliyetleri" Büyüklük'ünü ve Değişimleri

## SONUÇLAR

Bu çalışma genelinde elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir

• Dekapaj işlemlerinde kullanılması planlanan ekipmanların, mekanik mevcudiyet ve mekanik verim büyüklüklerini içeren verimlilik analizi sonucu "gerçekleşen" değerler, şu sınırları içermektedir

$$M_m = \% 92,85 - \%96,74$$

$$M_v = \% 5,95 - \%46,70$$

Eğer benzer hesaplamalar bu sistem için "teonk" olarak gerçekleştirilseydi, mekanik mevcudiyet ve mekanik verimleri sırasıyla %70-80 ve %40-55 olacağı saptanacaktı. Dikkat edileceği üzere, tüm ekipmanlar için hesaplanan mekanik verim büyüklüğünün %30'ların altında yer alması, kullanıma hazır net mekanik büyüklükten yetersiz yararlanılmadığına dikkat çekmektedir. Bir açık ocak komur işletmesinde bu tür analizlerin sistemdeki ekipmanların birlikte çalışması sırasında "koordinasyon ve süreklilik" gerektirmesi yönünden, kömürde "talep elastikiyeti" konusu ile birlikte değerlendirilmesi gereği burada bir kez daha önem kazanmaktadır (Tablo 3)

• OPSTCSIM olarak bulunan bir bilgisayar paket programı bu çalışmadaki sistemin simülasyonunda kullanılarak, optimum şartlarda bir karşılaştırma için uyuma faktörü araştırılmış ve 1,25 olarak hesaplanmıştır. Sozkonusu bu değer ise, işletme faaliyeti sırasında 3 adet kamyon ve her iki ekipmanın (shovel ve kamyon) mekanik verim ve mekanik mevcudiyetinin %84'üne karşılık gelmiştir (Tablo 4 ve Şekil 5)

• 1995 yılı tüm ekipmanlar için toplam direkt işletme maliyeti (yakıt + malzeme + işçilik) ise 1.244.488 \$ mertebesinde hesaplanmıştır. Bu maliyet değeri içinde en fazla harcama %53 ile (658.400 \$) malzeme (tastık + yedek parça ve tamir bakım işçiliği), %40'ı yakıt (mazot+yağ), %7'si ise işçilik (operator şoför) olarak pay almıştır (Tablo 5 ve Şekil 6)

• Aynı işletme süresi (n-2 yıl 3 ay) ve aynı indirgeme oranında (i=%15), arttırılacak dekapaj miktarına bağlı olarak, 0,964 (S/m<sup>3</sup>) olarak hesaplanan "teorik" dekapaj bınm işletme maliyeti net bugünkü değeri, 1,962 (S/m<sup>3</sup>) hesaplanan "gerçekleşen" dekapaj bınm işletme maliyetinin net bugünkü değerine oranla, bu çalışma kapsamında, yaklaşık olarak %100 mertebesinde azaldığı saptanmıştır (Şekil 7)

• Dekapaj işlemine tahsis edilecek ekipmanlara, işletmenin komur üretimini gerçekleştirmedeği zamanlarda "inceltme dekapajı" adı altında gelecekte yapılacak çalışmalara yardımcı olması bakımından süreleni "boşta geçirmemek" üzere iş verilebilir veya sozkonusu ekipmanlar "kiraya verilerek", işletmeye ekonomik yarar sağlanabilir. Zira, ekipmanların çalışmadığı zamanlardaki "aşınma payı" değerleniminin genel işletme maliyeti üzerine yük getireceği unutulmamalı, gerek maden gerekse inşaat sektöründe ülke ekonomisine katkı değer sağlayan "küçük - orta - büyük ölçekli üretici firmalar" genelinde bu konu, titizlikle araştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

Degarmo, E P , Sullivan, G W , Canada, R J 1984 *Engineering Economy*, Seventh Edition, Macmillian Publishing , Newyork Collier Macmillian Publishers, London, pp 920

Gurdoğan, N 1986 *İcarı ve Sosyal Açından Proje Değerlendirme Yöntemleri*, DPT, Yayın No 2063-MGS 15, s 167, Ankara

Kesimal, A1994 *A Comparative Study of Transportation Systems in Surface Mines*, Ph D Thesis The University of Nottingham

Tokgoz, N 1996 *Bir Açık Ocak Komur İşletmesinde Üretimde Kullanılan Ekipmanların Verimlilik Analizi*, IU Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s 96

Tokgoz, N ve İzibelli, U 1995 *İstanbul Ağaçlı Bölgesi Kömür Yataklarının Kısa Bir tanıtımı* Hava Kirliliği Komur Gerçeği Kitabı, (Editor E Anoğlu), TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayını, s 74-90, Mayıs, İstanbul