

# Bir Optimum Ekipman Yenileme Modeli

## An Optimum Equipment Replacement Model

Tibet CEBESOYO

Anahtar Sözcükler: Ekonomik ömür, faydalı servis ömrü yıllık eşdeğer maliyetler, operasyon maliyetlerinin tahminleri

### ÖZET

Bir maden işletmesinde ekipman maliyetleri işletmenin toplam maliyetinin yarısından fazlasını teşkil eder. Dolayısıyla, kısa ve uzun dönem maden planlamalarında işletmenin toplam maliyetlerini minimum etmek, gelirleri maksimuma çıkarmak, ekipman maliyetlerinin düzenli kontrolü yakından alakalıdır. Bu kontrol ise ancak iyi bir yenileme analizi ile yapılır. Bu yazıda bir optimum yenileme modeli açıklanmıştır. Modelin pratik uygulaması için bir bilgisayar programı yazılmış olup nümerik birde uygulaması verilmiştir.

### ABSTRACT

In an operating mine, equipment costs account for more than half of the total mine cost. Therefore, in order to minimise the total mine costs and to maximise the revenue in the short and long term mine planning are closely related to the regular control of equipment costs. This control is achieved with the best replacement analysis. Hence, in this paper, an optimum replacement model has been explained. For the practical applications of the model, a computer program is written and a numerical example is also given.

(\*) Dr.Maden Müh., ETİBANK Proje ve Tesis Dairesi Bşk., 06410 Sıhhiye, ANKARA

## 1. GİRİŞ

Bir açık işletmede üretim yapan ekipmanlar (kepçeli ekskavatör, yükleyici, kamyon gibi) maden yatağının ömrü boyunca çeşitli sebeplerden dolayı bir kaç defa yenilenmektedirler. Ekipman yenilenmesinde önemli olan problem, optimum yenileme zamanının tayinidir. Keza bu zamanın tahmini oldukça zor olup çok iyi bir mühendislik kararı gerektirmektedir. Çünkü erken yenileme zamanı ekipmana yapılan yatırımın verimli bir şekilde kullanılamamasına, geç yenileme zamanı da aşırı operasyon maliyetine neden olur.

Optimum yenileme zamanının tahminini yapabilmek için bugüne kadar değişik araştırmalar yapıldı. Örneğin Drinkwater ve Hasting (1967) 'Tamir Sınırı' (Repair Limit) teoremi ile askeri araçların tamir-bakım masraflarının bir zaman süreci içerisindeki durumunu değerlendirerek maksimum maliyetin oluştuğu yılı yenileme zamanı olarak kabul etmişlerdir. Gentry ve Johnson (1974) ekipmanların kullanım şartlarına ve verimlilik derecelerine bakarak optimum yenileme zamanlarını tayin etmişlerdir. Mohan ve Baily (1975) ekipmanların yenileme zamanını yapmış oldukları Tamsayılı (Integer) modelleme tekniğine göre ekipmanların optimum yenileme zamanlarını hesaplamışlardır. Ngüyen ve Murthy (1984) üretimde kullanılan tüm ekipmanların üretim kapasitelerinin zamanla değişmelerini gözönüne alarak bu zamanı tayin etmeye çalışmışlardır. Örneklerin sayısı artırılabilir ancak yazının uzunluğunun makbul sınırlar içerisinde kalması açısından burada kesilmesi uygun görülmüştür.

## 2. EKİPMAN YENİLENMESİNİN TEMEL SEBEPLERİ

Bu sebepler genel hatlarıyla aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

**İsteğe cevap vermemesi:** Kullanılan ekipmanların kapasiteleri, işletmenin genel üretim kapasitesini arttırması halinde bu isteğe cevap veremeyebilir. Dolayısı ile bir yenileme gerekebilir.

**Aşırı operasyon maliyetleri:** Ortamın kul-

lanım şartlarına bağlı olarak ekipmanların operasyon maliyetleri zaman ile doğru orantılı olarak artar. Maliyeti minimize etmek için yenilenmeleri düşünülebilir.

**Fiziki yıpranmalar:** Atmosferik ve ortamın çalışma şartlarından dolayı ekipmanlar erken yıpranarak yenilenmeleri gerekli olabilir.

**Teknolojik Eskime:** Mevcut üretimde kullanılan ekipmanların, model, tip ve teknolojik açılarından geri kalması durumunda yenilenmeleri gerekebilir.

## 3. MODELİN UYGULANMASINDA GEREKLİ OLAN VERİLER

**Sebep ne olursa olsun ekipman yenileme işlemi bir maliyet analizine dayanır.** Dolayısıyla bazı verilerin bu analizde bilinmesi gereklidir.

**İlk yatırım maliyetleri:** Bu maliyetler zamanla orantılı olarak azalan maliyetlerdir. Örneğin alış maliyeti, taşıma maliyeti, monte etme maliyeti, hurda satış değerleri gibi.

**Operasyon maliyetleri:** Bu maliyetler ekipmanların kullanımı sırasında doğan maliyetlerdir. Örneğin, yakıt, yağ, bakım, tamir, işçi maliyetleri gibi.

**Ekonomik Faktörler:** Ekipmanların ömürleri, uygulanacak faiz oranları gibi.

## 4. MODELİN TANITIMI

Madencilik faaliyetlerinde kullanılan tüm ekipmanlar genelde üç ömüre sahiptirler;

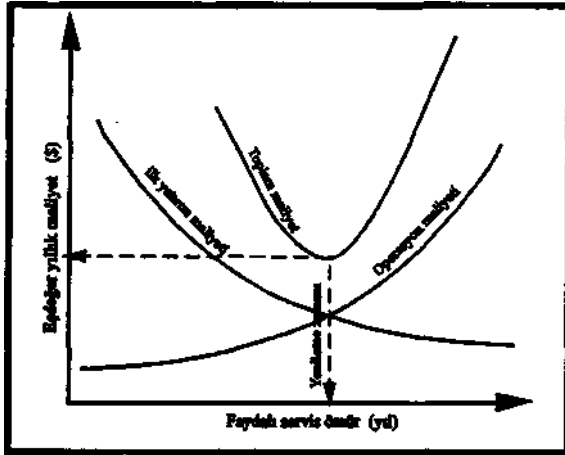
- Ekonomik ömür veya yenileme zamanı (Economic or replacement life)
- Faydalı servis ömrü veya fiziki ömür (Useful service life or physical)
- Amortisman ömrü (Depreciation life)

**Ekonomik ömür ekipmanın yenilediği ömürdür.** Bu ömür gelirler dikkate alındığında ekipmanın optimum geliri sağladığı yıl olup, maliyetler açısından dikkate alındığında yıllık eşdeğer toplam ekipman maliyetinin en düşük olduğu yıldır. Fiziki ömür veya faydalı ömür ekipmanın hurda

değerini almış olduğu ömürdür. Bu ömrün sonunda ekipmanın toplam maliyeti toplam gelirinden daha fazladır. Amortisman ömrü ekipmanın kendisine yapılan yatırımı dengelediği yıl olarak tanımlanabilir. Ancak burada geliştirilen model sadece ekonomik ve faydalı servis ömürlerini dikkate almaktadır.

Model hem işletmede mevcut kullanılan ekipmanların hem de yeni alınacak ekipmanların ekonomik ömürlerinin tahminlerini yapar. Ancak eski veya yeni ekipmanların ekonomik ömürlerinin tahminleri yapılırken, modelin uygulamasında gözönüne alınması gereken faydalı servis ömürleri farklıdır. Örneğin, yeni bir ekipmanın ekonomik ömrünün tahmininde faydalı servis ömrünün tamamı gözönüne alınırken, eski bir ekipmanın ekonomik ömrünün tahmininde sadece kalan servis ömrü dikkate alınır.

Yenileme modeli Şekil T de görülen grafikte basit bir şekilde izah edilebilir.



Şekil 1. Modelin grafiksel izahatı

Şekil T deki grafiğe göre, bir ekipmanın eşdeğer yıllık ilk yatırım maliyetleri zaman ile orantılı olarak azalırken, eşdeğer yıllık operasyon maliyetleri tersine artar. Bu iki maliyet eğrisinin bileşkesinden ortaya çıkan eşdeğer yıllık toplam maliyet eğrisinin en düşük olduğu kısım ekipmanın ekonomik ömrü olup, bu noktada ekipman mutlaka yenilenmelidir. Çünkü bu noktadan sonra toplam maliyet eğrisi hızlı bir şekilde yükselmektedir.

Bir ekipmanın ekonomik ömrünün tesbiti kompleks matematik işlemi gerektirmesine rağmen, aşağıda belirtilen iki ideal kural ile bu ömür herhangi bir hesap yapılmadan da

tahmin edilebilir.

1) Eğer bir ekipmanın yıllık operasyon maliyeti ve yıllık hurda değerleri faydalı servis ömrü boyunca her yıl aynı ise, ekonomik ömür ekipmanın servis ömrüdür. Bunun anlamı ekipman hurda oluncaya kadar kullanılabilir demektir.

2) Eğer bir ekipmanın yıllık hurda değerleri, ilk yatırım maliyetine eşit ve yıllık operasyon mayitleri faydalı servis ömrü boyunca artıyorsa, bu ekipmanın ekonomik ömrü her zaman bir yıldır. Yani ekipman ilk yıl kullanımından sonra ekonomikliğini yitirmektedir.

Ancak belirtildiği gibi, bunlar ideal durumlar olup gerçekte ekonomik ömür bu iki durum arasında yer alır.

## 5. EKİPMAN OPERASYON MALİYETLERİNİ TAHMİN ETME YÖNTEMLERİ

Ekipmanın ekonomik ömrünün hesaplanmasında operasyon maliyetlerinin bir zaman süreci üzerinden tahminler yapılmalıdır. Bir başka anlatımla, ekipmanın operasyon maliyetleri faydalı servis ömrü boyunca nasıl ve ne şekilde değişeceğinin tahmin edilmesi gerekir. Zira, şimdiye kadar yapılan bilimsel araştırmalarda bu maliyetlerin zaman içerisinde nasıl artış göstereceği kesin kurullarla tespit edilememiştir. Geliştirilen yenileme modeli operasyon maliyetlerinin tahminini aşağıdaki dört metod ile yerine getirmektedir (Cebesoy, 1993).

- Doğrusal olarak artış göstermesi
- Aritmetik seri olarak artış göstermesi
- Geometrik seri olarak artış göstermesi
- Doğrusal olmayan bir şekilde artış göstermesi

Ekipman operasyon maliyetlerinin doğrusal bir şekilde artış göstermesi güncel hayatta fazla sık rastlanan bir olay değildir? Fakat enflasyonun düşük olduğu ülkelerde bazı operasyon maliyetleri hemen hemen her yıl aynıdır. Örneğin işçilik maliyetleri gibi.

Operasyon maliyetlerinin aritmetik seri olarak artış göstermesi daha gerçekçi bir

yaklaşımdır. Bu metotta operasyon maliyetleri her yıl belli bir aritmetik oranla artış göstereceği kabul edilir. Ancak bu oranın tespiti, büyük ölçüde tahmini yapanın geçmiş deneyimlerine, ekipmanın teknik özelliklerine, kullanım şekillerine, kullanım sıklığına ve çalıştığı ortamın coğrafi yapısı gibi bir çok bilinen ve bilinmeyen faktörlere bağlı olarak değişir. Model, sözkonusu faktörleri gözönünde bulundurularak istatistiksel bir risk analizi ile beklenen aritmetik oranın tahminini yapar.

Geometrik seri metod da aynı aritmetik seri metoda benzerdir. Ancak bu metotta operasyon maliyeti bir aritmetik oranla değil sabit bir geometrik yüzde oranı ile artış göstermektedir. Bu yüzde oranının maliyetini tahmin etmesi gerekir. Bu metod diğerlerine nazaran daha zordur.

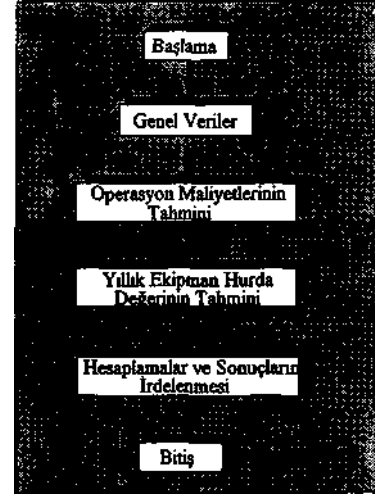
Doğrusal olmayan metotta ise operasyon maliyetleri ekipmanın faydalı servis ömrü boyunca heryıl farklı bir şekilde artış göstermektedir. Dolayısıyla karar verici servis ömrü süresince her bir yılın operasyon maliyetini tahmin etmesi gerekir. Bir metod diğerlerine nazaran daha zordur.

## 6. MODELİN PRATİK UYGULAMASI İÇİN GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Modelin hızlı ve pratik uygulaması için geliştirilen paket program Turbo Pascal V 6.0 ile IBM uyumlu bir bilgisayarda ingilizce olarak yazılmış olup, kısa adı ECMS (Equipment Cost Modelling System) olan 'Ekipman Maliyet Modelleme Sistemi' dir. ECMS in genel akım şeması Şekil 2' de görülmektedir.

Akım şemasında da görüldüğü gibi, ilk kısım genel veriler ile ilgili olup burada kullanıcı Şekil 3' de görülen bilgileri girer. (Ekipman sayısı, faiz oranı, ekipmanın ilk alış veya ilk yatırım maliyeti ve faydalı servis ömrü). Bundan sonra operasyon maliyetlerinin tahmini yapılır. Bunun için kullanıcı Şekil 4' de görülen seçeneklerden birini seçer. Eğer kullanıcı aritmetik veya geometrik metotlardan birini seçerse Şekil 5 veya Şekil 6' da görülen bilgileri girerek beklenen aritmetik oranın veya geometrik yüzde değerinin tahmini yapabilir. Eğer kul-

lanıcı Şekil 7' yi seçerse bu bir doğrusal olmayan metod olup ekipmanın faydalı servis ömrünün her bir yılına karşılık gelen operasyon maliyetlerini tahmin etmesi gerekir.



Şekil 2. ECMS'in genel akım şeması

ECMS operasyon maliyetlerini bu yöntemleri biri ile tahmin ettikten sonra, bu tahmin değerlerini Şekil 8' e otomatik olarak taşır ve burada kullanıcıdan ekipmanın servis ömrü boyunca hurda değerlerini girmesini ister. Bütün bu işlemlerden sonra ECMS gerekli hesaplamaları ve analizleri yaparak sonuçları bir dosyada toplar ve ekrana grafikleriyle beraber getirir.

## 7- MODEL İÇİN NÜMERİK BİR UYGULAMA

Bir açık işletmede, mevcut kullanılan Z1 ve X1 dekapaj kamyonlarıyla yeni alınacak iki adet Y1 ve Y2 dekapaj kamyonlarının optimum yenileme zamanları tahmin edilmek istenmiştir. Kamyonlarla ilgili tüm veriler Çizelge 1' de verilmiştir.

ECMS' e bu veriler girildiğinde sonuçlar Şekil 9 ile Şekil 13 arasında görülmektedir. Şekillerdeki notasyonların anlamları sırasıyla; E.OP.C.(Annual equivalent operation costs) 'Yıllık eşdeğer operasyon maliyetler', E.O.W.C. (Annual equivalent ownership costs) 'Yıllık eşdeğer ilk yatırım maliyetler', ESALV. (Annual equivalent salvage values) 'Yıllık eşdeğer hurda değerler', ETOT.C. (Annual equivalent total costs) 'Yıllık eşdeğer toplam maliyetler' dir. Z1 kamyonun 6 yıl fay-

Analiz edilecek ekipman sayısını giriniz : ?

Uygulanacak faiz oranı nedir : ?

[ Ekipman no: 1 ]

İlk alış maliyeti ( \$ ) :

Servis ömrü ( yıl ) :

Şekil - 3 Genel Bilgiler Menüü

Deneme Sayısı	Mümkün geometrik Yüzdeler (%)	Her Bir Yüzdenin Olasılığı (ondalık)
1	20	0.05
2	30	0.06
3	40	0.07
4	50	0.08
5	.	.
.	.	.
.	Kullanıcı tarafından Girilecek	Kullanıcı tarafından Girilecek

Şekil - 6 Geometrik Seri Tahmin Metodu

1 - ) Doğrusal Tahmin Metodu

2 - ) Aritmetik Tahmin Metodu

3 - ) Geometrik Tahmin Metodu

4 - ) Doğrusal Olmayan Tahmin Metodu

Seçiminizi yazın ( )

Şekil - 4 Operasyon Maliyetleri Tahmin Etme Metotları

Servis Ömrü (Yıl)	Yıllık Operasyon Maliyetleri (\$)
1	1000
2	2000
3	3000
4	4000
5	5000
.	.
.	.
.	.

Şekil - 7 Doğrusal Olmayan Tahmin Metodu

Deneme sayısı	Mümkün Aritmetik Oranlar (%)	Her Bir Oranın Olasılığı (ondalık)
1	200	0.05
2	300	0.06
3	400	0.07
4	500	0.08
5	.	.
.	.	.
.	Kullanıcı tarafından Girilecek	Kullanıcı tarafından Girilecek

Şekil - 5 Aritmetik Seri Tahmin Metodu

Servis Ömrü (Yıl)	Tahmini Harca Değerleri (\$)	Tahm. edilmiş Oper. Maliyetleri (\$)
1	40000	1000
2	30000	2000
3	20000	3000
4	10000	4000
5	.	.
.	.	.
.	Kullanıcı tarafından Girilecek	Doeyadan Okunacak

Şekil - 8 Yenileme Zamanı Hesaplaması

Çizelge 1. Kamyonlarla ilgili veriler

Kullanılan Kamyon - Z1		
Kalan servis ömrü: 6 yıl		
İlk alış maliyeti : \$6000		
Faiz oranı : %12		
Tahmini hurda değerleri (\$): 30000, 15000, 10000, 5000, 1000, ve 0		
İlk yıl oper. maliyeti : \$5000		
Operasyon maliyeti aritmetik olarak artmaktadır.		
Z1 operasyon maliyeti için mümkün olabilecek artışları		

Tahmin	Artış (\$)	Olasılık
1	1000	0.08
2	2000	0.10
3	4000	0.19
4	6000	0.29
5	8000	0.30
6	1500	0.05

Kullanılan Kamyon - X1		
Kalan servis ömrü: 8 yıl		
İlk alış maliyeti : \$125000		
Faiz oranı : %12		
Tahmini hurda değerleri (\$): 40000, 30000, 25000, 15000, 10000, 6000, 3000 ve 1000		
İlk yıl oper. maliyeti : \$8500		
Operasyon maliyeti geometrik olarak artmaktadır.		
X1 operasyon maliyeti için mümkün olabilecek artışları		

Tahmin	Artış %	Olasılık
1	10	0.02
2	20	0.06
3	30	0.09
4	40	0.10
5	50	0.16
6	60	0.20
7	70	0.10
8	80	0.09
9	90	0.05
10	100	0.01

Yeni Kamyon - Y1		
Servis ömrü: 12 yıl		
İlk alış maliyeti : \$135000		
Faiz oranı : %12		
Operasyon maliyeti doğrusal olmayan bir şekilde artmaktadır.		
Y1 operasyon maliyeti ve hurda değerleri için mümkün tahminler		

Ömür	Hurd.(\$)	Oprs. (\$)
1	42500	10000
2	35000	15000
3	30000	19000
4	25000	22000
5	22000	25000
6	19000	28000
?	12000	30000
8	8000	35000
9	2000	45000
10	500	52000
11	100	55000
12	0	60000

Yeni Kamyon - Y2		
Servis ömrü: 7 yıl		
İlk alış maliyeti : \$85000		
Faiz oranı : %12		
Operasyon maliyeti doğrusal olmayan bir şekilde artmaktadır.		
Y2 operasyon maliyeti ve hurda değerleri için mümkün tahminler		

Ömür	Hurd.(\$)	Oprs. (\$)
1	65000	10000
2	50000	15000
3	35000	18000
4	30000	20000
5	20000	25000
6	10000	28000
7	2000	30000

dalı servis ömrü kalmış olup ve bulunan sonuca göre bu kamyon servis ömrünün sonuna kadar kullanılabilir. X1 kamyonunun 8 yıl servis ömrü kalmış olup elde edilen sonuca göre 5 yıl daha kullanıldıktan sonra yenilenmelidir. Y1 kamyonunun toplam 12 yıl servis ömrü olup 9 yıl kullanıldıktan sonra yenilenmelidir. Y2 kamyonunun 7 yıl servis ömrü olup 4 yıl kullanıldıktan sonra yenilenmelidir.

## 8. MODELİN EKSİKLİKLERİ

Geliştirilen yenileme modeli ekipmanların yenileme zamanlarını doğru olarak tahmin edebilmektedir. Ancak aşağıdaki faktörler modelin uygulamasında gözönüne bulundurulması gerekmektedir.

1) Yenileme modeli ekipmanların yenileme zamanlarını sadece ekonomik ömrünü tamamlasa bile bazı sebeplerden dolayı yenileme belli bir süre ertelenebilir. Bir başka anlatımla, bir ekipman ekonomik ömrünü tamamladığı yıl, satın alınacak ekipmanın yıllık eşdeğer toplam maliyeti, eğer elden çıkarılacak olan ekipmanın marjinal maliyetinden (yillik ilk yatırım maliyeti+yıllık operasyon maliyeti+yıllık amortisman) daha büyük ise, yenileme kararı birkaç yıl ertelenebilir.

2) Yenileme zamanından önce doğabilecek ve operasyon maliyetlerini kötü bir şekilde etkileyebilecek büyük tamir ve

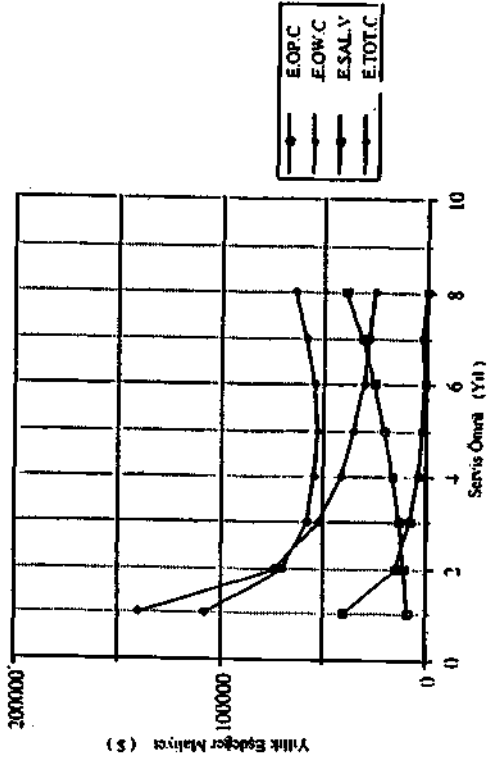
bakım masrafları model de göz önüne alınmamaktadır.

3) Ekipmanlardan alınan vergi dikkate alınmamıştır.

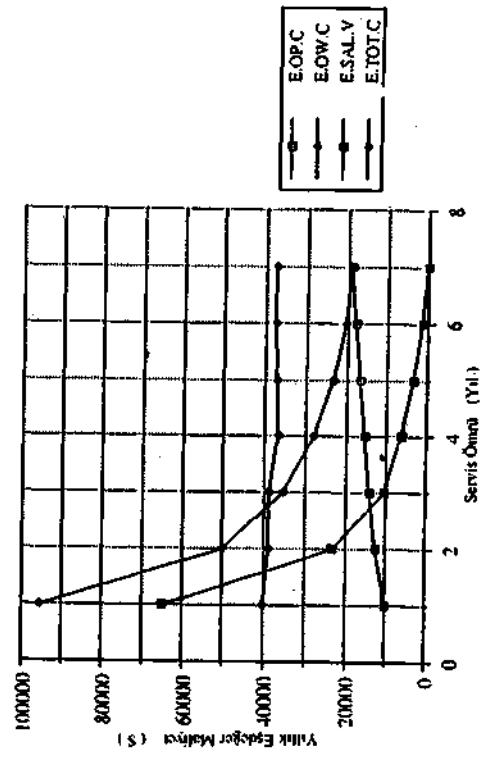
## 9. SONUÇLAR

Bir maden işletmesinde en büyük maliyetleri üretimde kullanılan ekipmanlar oluşturur. Bundan dolayı ekipman yenileme ile ilgili kararlar işletmeler için çok önemlidir. Keza, doğru verilecek yenileme kararları işletmenin giderleri üzerinde dikkate değer oranda tasarruflar sağlayabileceği gibi, yanlış verilecek kararlar ise tersine işletmeyi büyük dar boğazlara sokarak kapanmasına neden olabilir.

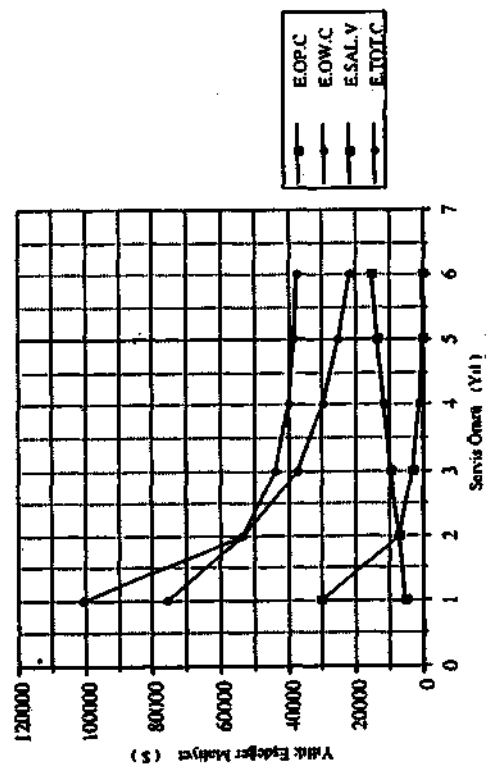
Ekipmanların yenileme kararları ekipmanların ne zaman yenileneceği ile ilgilidir. Bu yazıda geliştirilen model, ekipmanların yenileme zamanlarını tam olarak tayin etmektedir. Modelin pratik uygulaması için geliştirilen paket program yenileme zamanının hesaplanması ile ilgili kompleks matematik işlemlerini hızlı bir şekilde çözümlenerek, doğru karar vermede karar vericilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Modelde dikkat çekecek noktalardan biri, ekipman operasyon maliyetlerinin ekipmanın faydalı ömrü boyunca dört farklı metod ile tahminlerinin yapılmasıdır.



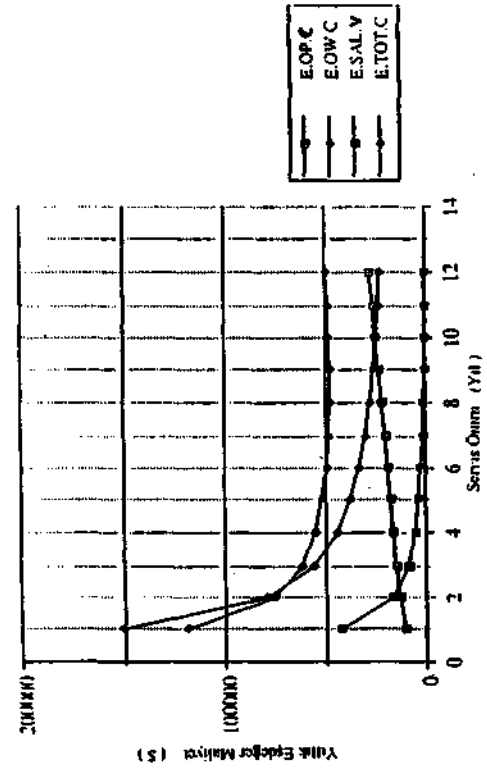
Şekil - 10 XI Kamyonunun Yenileme Zamanı



Şekil - 12 Y2 Kamyonunun Yenileme Zamanı



Şekil - 9 Z1 Kamyonunun Yenileme Zamanı



Şekil - 11 Y1 Kamyonunun Yenileme Zamanı

## KAYNAKLAR

CEBESOY, T., 1993 "Cost Modelling System for Discontinuous Surface Mining Equipment". Ph. D Thesis, Nottingham.

DRINKWATER, R. W. and HASTING, N.A.J., 1967 "An Economic Replacement Analysis Model" Operational Research Quarterly, Vol: 18, pp: 121-138.

GENTRY, D. W. and JOHNSON, T.B., 1974 "An Investment Policy for Equipment Replacement Analysis". Mineral Industries Bulletin, pp: 13-17, January.

MOHAN, B.B. and BAILY, R.J.M., 1875 "A Proposed Improvement Replacement Policy for

Army Vehicles" Operational Research Quarterly. Vol: 26, pp: 447-485.

SHERER, H.E. and GENTRY, D.W., 1982 "An Operational Research Approach to the Equipment Replacement Problem" 17th APCOM pp: 161-169.

NGUYEN, D.G. and MURTHY, D.N.P., 1984 "Combined Block and Repair Limit Replacement Policy" Journal of Operations Research Society. Vol: 35, No: 7, pp: 653-658.

TANCHOCO, J.M.A. and LEUNG, L.C., 1987 "An Input-Output Model for Equipment Replacement Decisions" Engineering Costs and Production Economics, Vol: 11, pp: 69-78.Kasım.

