

MADEN EKİPMANLARI İÇİN BİR RASYONEL BAKIM PLANLAMASI MODELİ : ÖNLEYİCİ BAKIM

A RATIONAL MAINTENANCE PLANNING MODEL FOR MINING EQUIPMENT : PREVENTIVE MAINTENANCE

*Tibet CEBESOY**

OZET

Modeli ve tıpy ne olursa olsun madencilikte kullanılan tum ekipmanlar yaşlandııkça ve kullanıldııkça sık sık anızalanıriar Arızalanmalar neticesinde ortaya çıkacak bakım ve tamir masrafı, ekipmanın toplam değişken maliyetleri içindeki payı oldukça yüksek olup, yaklaşık olarak %20'nin üzerindedir Belli bir yere kadar önleyici bakım modeli ile bu maliyetleri en aza indirmek etmek olasıdır Ancak, modelin pratiğe uygulanabilmesi için bozulma paternleri, bozulma oranları, bakım frekansları ve bakım maliyetlerinin dikkatli bir şekilde kestirilmeleri gerekmektedir Bu makalede, bu parametrelerin kestirim yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve ornekleyici olması açısından sayısal bir uygulaması da yapılmıştır

ABSTRACT

All mining equipment, regardless of their model and type, are frequently broken down in accordance with use and age Maintenance and repair costs of the broken equipment account for a large portion among total variable costs (approximately over 20%) To a significant extent, with preventive maintenance these costs can possibly be minimised However, in order to put this model into practice, failure pattern, failure rate .maintenance frequency and maintenance costs must carefully be estimated In this paper, the estimations of these parameters are examined in detail and a numerical example is also given for illustration purposes '

1-) GİRİŞ

Gerek ülkemizde ve gerekse dünyanın diğer birçok ülkesinde maden endüstrisi, iktisadı ve ekonomik açılarından tam bir dar boğaz ile karşı karşıyadır özellikle maksimum gelin minimum maliyetle sağlamayı hedefleyen maden endustnsı, mekanize üretim tekniklerine yönelerek daha tekonojok ekipmanları satın almak için sermayesinin büyük bir kısmını seferber etmiştir

Ancak satın alınan bu ekipmanların verimli kullanılması ve verimliliğinin artırılması hususların da birçok maden işletmesi maalesef gereken dikkati yeterince vermemekte ve ekipmanların üretim esnasında bozulmaları halinde, bunu eğitim görmüş yetenekli birkaç teknisyen ile sahada acil tamir yaparak kullanmayı tercih etmektedirler Şurası iyi bilinmelidir ki, acil tamir sadece kısa bir süreli çareler olup, bu şekilde çalıştırılan ekipmanlar hem kullanım güvenilirlikleri ve hem de verimlilikken zamanla hızla azalmaktadır(Clark, 1990) Oyleki bir zaman sonra tamir masrafı ekonomik limiti aşmakta ve yapılan yatırım kendini amorte edmeden ekipmanlar acil olarak yenilenmektedir (Drinkwater,1967,Neguyen,1984, Hınd,1989,Chadwick,1992) Diğer yandan, tamir bir bakım faaliyetinin sadece bir bolumunu oluşturmakta olup, önleyici bakımda iyi teknisyenlere, tamircilere, elektrikçilere,vb , ihtiyaç duyulmasının yanı sıra, problemlerin üstesinden gelebilecek iyi bir organizasyona ve yönetime de ihtiyaç vardır Netice olarak, günümüzün maden işletmeciliğinde artık, işletmeye yeni ekipmanlar almanın yerine mevcut çalışan ekipmanlar önleyici bakım planlarıyla ekonomik ömürleri uzatmak ve verimlilikleri arttırmak prensibi on plandadır

2) ÖNLEYİCİ BAKIM MODELİ VE PERFORMANS FAKTÖRLERİ

Akılcı bakım planlaması, bir maden işletmesinde tüm ekipmanların sürekli çalışır durumda olmasını sağlamak amacıyla yapılan planlama faaliyeti olup, esas amacı işletmenin proje safhasında kabul ettiği teorik üretim kapasitesine ulaşmak için ekipmanların optimum kullanımını sağlamaktır Bu amaç doğrultusunda, akılcı bir bakım planlamasının başarısı da elbette iyi tasarlanmış önleyici bakım modeline bağlıdır Önleyici bakım, ekipmaların herhangi bir arızalanmaya veya bozulmalara karşı önlem olması bakımından daha önceden belirli periyodlarla bakıma alınması olup, kalifiye personel ve malzeme gerektirmesi bakımından pahalı ancak oldukça etkili olan bir bakım modelidir Önleyici bakımın doğal olarak sağladığı avantajlar şunlardır

Ekipmanların daha az arızalanma durumu olacağından, pratik üretim kapasitesi teorik üretim kapasitesine doğru yaklaşarak işletme gelin maksimum olacaktır

Ekipmanların daha önceden fiziksel bakımı yapıldığından arızalar nedeniyle vardiyada zaman kaybı ile ortaya çıkan üretim kaybı ortadan kalkmaktadır Yedek ekipman sayısında azalma olacağından doğal olarak işletme yatırımında tasarruf sağlanacaktır

Ekipmanların ekonomik ömürlerinde uzama olacaktır

Ekipmanların hurda değerinde bir artış olacaktır

Operatörlerin ve işçilerin emniyeti artmaktadır

Değişken maliyetler azalarak artış gösterir

Önleyici bakım performansının değerlendirilmesi aşağıdaki faktörlerle yapılır

Faydalanma Oranı (Availability): Ekipmanın belli çalışma zaman içerisinde bozulmadan gösterdiği performansdır. Faydalanma oranı aşağıdaki eşitlikle daha net bir şekilde izah edilebilir (Czaplicki,1990)

$$\text{Faydalanma Oranı} = \frac{\text{Çalışma Zamanı}}{\text{Çalışma Zamanı} + \text{Tamir Zamanı}} \times 100 \quad (D)$$

Kullanılma Oranı (Utilisation): Ekipmanın on görülen bir zaman içerisinde iş konsantrasyonuna bağlı olarak maksimum kullanılabilme yüzdesi olup, aşağıdaki eşitlikle açıklanabilir

$$\text{Kullanılma Oranı} = \frac{\text{Çalışma Zamanı} + \text{İkmal Zamanı}}{\text{Çalışma Zamanı} + \text{İkmal Zaman} + \text{Boş Zaman}} \times 100 \quad (2)$$

Güvenilirlik (Reliability): Ekipmanın bozulmadan verimli olarak çalıştığı süreyi ifade etmektedir. Sürenin uzunluğu önleyici bakımın verimliliğini gösterir. Güvenilirlik kullanılan ekipmanların bozulma oranlarına bağlı olup ekipman bozulmaları rassaldır, yani bozulma zamanları sürekli olarak değişir. Dolayısıyla, ekipmanların faydalı ömürleri boyunca hangi aralıklarla bozulacağını bilmesi olasılıklara bağlı olup, belli zaman aralığındaki çizilecek olan olasılık eğrisi, güvenilirlik derecesi hakkında bazı bilgiler verebilir. Örnek olarak, t_1 ve t_2 zaman aralığında önleyici bakım sonrası beklenen güvenilirlik ($G(t)$), olasılık fonksiyonunun birim zaman aralığındaki integraline eşittir (Chatterjee ve Kumar, 1987)

$$G(t) = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt, \quad t_1 \leq t \leq t_2 \quad (3)$$

$f(t)$: Bozulma olasılık fonksiyonu, t : mümkün bozulma zamanı.

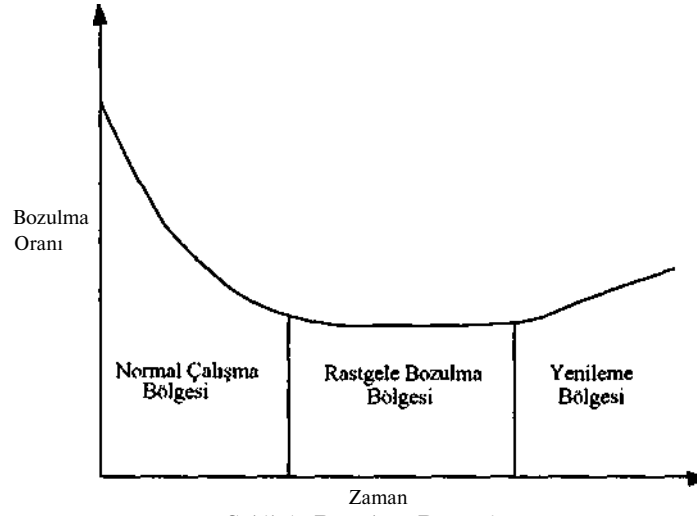
Önleyici bakım programının hazırlanmasında aşağıdaki faktörler optimuma yakın olarak kestirilmelidirler.

- Bakım frekans aralığı
- Bakım maliyeti

Bakım frekans aralığı ile, önleyici bakımın hangi zaman aralıklarıyla yapılacağı anlaşılır. Bakım maliyeti ise bakıma alınan ekipmanlardan dolayı doğacak üretim kaybından ötürü gelir azalması ve bakıma gelen ekipmanların tamir-bakım masrafları anlaşılır. Bu iki faktör aşağıdan daha detaylı incelenmiştir.

3-) EKİPMAN BOZULMA PATERNLERİ

Önleyici bakım modelinde frekans aralığının tahmininde dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biri ekipmanların olası birim zaman içerisindeki bozulma paternleridir (veya bozulma karakteristikleri). Ekipmanların bozulma paternleri, ekipmanların bozulma oranlarının olası birim zaman içindeki dağılımı ile belirlenir. Bozulma oranları zaman ile korele edildiklerinde banyo küvet eğrisine (bath-tub curve) benzer bir patern yapısı ortaya çıkmaktadır (Şekil-1) (Jardin, 1975)



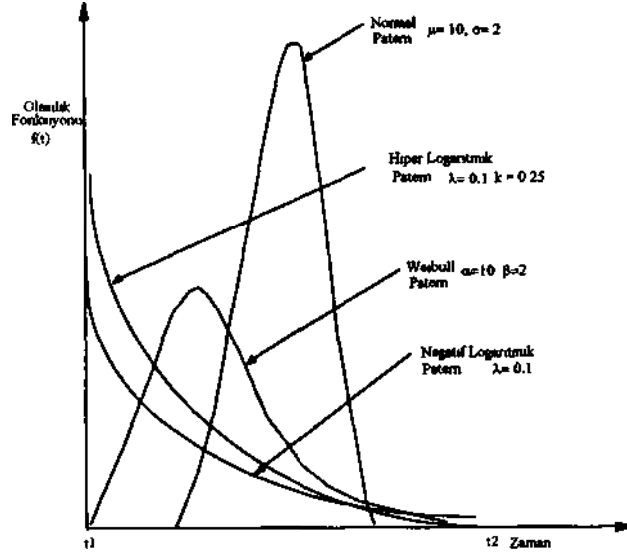
Şekil-1 Bozulma Paterni

Bu üç bölge içerisinde, birinci bölgede ekipmanlar yeni olduklarından bozulma oranları düşüktür ve normal çalışma seyri aksatacak büyük olasılıklı bozulmalar meydana gelmemektedir. Ancak burada bir noktayı da vurgulamak gerekir, kullanılan ekipmanlar yeni bile olsalar, kötü şartlar altında çalıştırılmaları ve yanlış kullanılmaları sonucunda büyük bozulmalara maruz kalacağıda unutulmamalıdır. Dolayısıyla, bu bölgedeki bozulmalar genellikle ekipmanın kendi fiziki şartlarından ziyade, ekipmanların uygun olmayan çalışma koşulları altında çalıştırılmaları ve kötü kullanımlar sonucunda oluşmaktadır. Neticede, normal çalışma bölgesinde, çevre şartlarının düzeltilmesi ve düzenli önleyici bakım politikalarının uygulanmasıyla rastgele bozulma oranları zamanla azalmaya doğru meyil gösterecektir. İkinci bölgede, ekipmanlar belli bir kullanımdan sonra ekonomik ömürlerini tamamlamaktadırlar. Bu bölgede ekipmanlardaki bozulmaların temel kaynağı, ekipmanların fiziki şartları olup, bu şartlar çalıştırıldıkları çevre şartlarına uyum sağlayamamaktadır. Bu bölgede ekipmanların bozulma zamanlarının tesbiti ve tahmini güçleşmekte ve bozulma oranları zamanla yükselmeye doğru eğilim göstermektedir. Bozulma oranlarının tesbitindeki bu zorluk ve rassallık ekipmanların olasılıklı bozulma paternleri de farklı kılar. Örneğin aynı tür ve tip iki ekipman, aynı çevre şartlarında kullanılsalar ve aynı yaşta olsalar bile her iki ekipmanın bozulma oranlarının birbirinden farklı olması sebebiyle bu ekipmanlar farklı bozulma paternleri sergileyebilir. Genellikle, üretimde, nakliyatta, ve kazı işlerinde kullanılan ekipmanlarda görülen bozulma paternleri Şekil-2'de görülmektedir.

Normal bozulma paterni aynı çan eğrisine benzemekte olup, ekipman motorlarının ve farlarının bozulması bu tip paterni sergiler. Normal bozulma paterni aşağıdaki olasılık fonksiyonu ile elde edilir;

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad -t_1 \leq t \leq t_2 \quad (4)$$

t: mümkün bozulma zamanı, μ : dağılımın aritmetik ortalaması, σ : dağılımın standart sapmasıdır.



Şekil-2 Tipik Ekipman Bozulma Paternleri

Hiper logaritmik patern ise ekipmanların çok kısa veya çok uzun bir zaman aralığında bozulmasını simgeleyen bir bozulma paternidir. Örneğin, ekipmanlardaki bazı elektronik parçaların bozulmaları genelde bu türden bir bozulma paterni sergiler. Hiper bozulma paternine ait olasılık fonksiyonu;

$$f(t) = 2k^2 \lambda \exp[-2k \lambda t] + 2\lambda(1-k)^2 \exp[-2(1-k)\lambda t], \quad t \geq 0 \text{ ve } t_1 \leq t \leq t_2, \quad 0 < k \leq 0.5 \quad (5)$$

t: mümkün bozulma zamanı, k: dağılıma ait belli bir aralıktaki sabit, λ : ortalama bozulma sıklığı oranı.

Weibull bozulma tipi ekipmanlarda rastlanan en büyük bozulma paterni olup amprik bir dağılımdır. Paternine ait olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(t) = (\alpha\beta)t^{\beta-1}\exp[-\alpha t^\beta], \quad t \geq 0 \text{ ve } -t_1 \leq t \leq t_2 \quad (6)$$

α bir ölçek parametresi ve $\alpha > 0$, β bir şekil parametresi olup, β 'nin aldığı değerlere bağlı olarak Weibull paterni diğer paternlere doğru eğilim gösterir. Örneğin $\beta=1$ olduğu zaman bozulma oranı sabit olmakta Weibull paterni negatif logaritmik (ekponensiyel) paterne doğru eğilim göstermekte, $\beta > 1$ olduğu zaman bozulma oranı artmakta ve Weibull paterni normal paterne doğru eğilim göstermekte ve $\beta < 1$ ise bozulma oranı azalmakta ve Weibull paterni hiper logaritmik paterne dönüşme eğilimi gösterir.

Negatif logaritmik patern genelde ekipmanın birden fazla aksamının bozulması ve aşırı yükler altında çalıştırılmaları halinde ortaya çıkan bir patern olup, olasılık fonksiyonu,

$$f(t) = \lambda \exp[-\lambda t], \quad t \geq 0 \quad (7)$$

Banyo kuvvet eğrisindeki yenileme bölgesinde, ekipmanlardaki bozulma oranı gittikçe yükseldiğinden artık herhangi bir bakım ekonomik olmamakta ve dolayısıyla ekipmanlar bu bölgede yenilenmektedirler.

3.1-) Bozulma oranı

Ekipmanlara önleyici bakımın uygulanıp uygulanmayacağı ve uygulanacaksa hangi aralıklarda uygulanacağını tesbiti bozulma oranı ile ilişkilidir. Belli bir zaman aralığında ortalama bozulma oranı bağıntısı 8 yardımıyla hesaplanır.

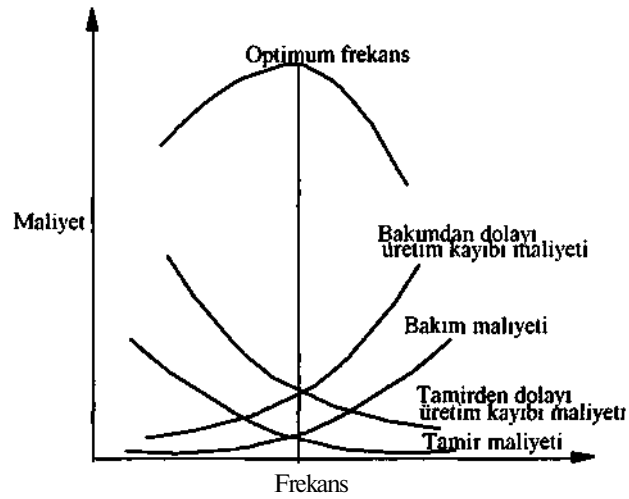
$$r(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (8)$$

$f(t)$: Olasıl bozulma paterni, $F(t)$: Olasıl kümülatif bozulma paterni, t :Olasıl bozulma zamanı, $r(t)$: Olasıl bozulma oranı

Ekipmanlarda bozulma oranı ani olarak arttığında ve sıklaştığında mutlaka yenileme kararı alınmalıdır. Örneğin; Normal ve Weibull bozulma paterninde bozulma oranı aniden yükseldiğinden bakım sonrası böyle bir patern sergileyen ekipmanlar yenilenmelidir. Diğer yandan, hiper ve negatif logaritmik paternlerde bozulma oranı zamana bağlı olarak azalmakta sonuç olarak yapılan bakımın iyi olduğu ortaya çıkmaktadır.

3.2-) Frekans Aralığı

Bakım frekansı, önleyici bakımın sistematik olarak uygulanacağı düzenli zaman aralığını göstermektedir. Genellikle bu, haftada veya bir ay içerisindeki bakım sayısı ile ölçülür. Örneğin haftada 1 defa veya ayda 3 defa ekipmanların düzenli olarak bakıma alınması, frekans aralığını göstermektedir. Ekipmanlar böyle belirli aralıklarla bakıma alınmaları sonucunda, belli miktar üretim kaybı olduğundan ürün satış geliri düşmekte, beher ekipmana düşen sabit maliyetler karşılanamamakta ve tamir-bakım maliyetleri artmaktadır (Şekil-3)



Şekil-3 Frekans Aralığı Tayını

Dolayısıyla, bütün kayıpları en aza indirecek optimum frekans aralığının en iyi şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Pratikte bu aralığı tayin etmek başlı başına bir sorundur. Ancak daha önce kullanılmış ekipmanların bozulma paternleri ve bakım dokümantasyonları bu zaman aralığının tahmininde faydalı olabilirler. Netice olarak, optimum bakım frekans aralığının tahmini şu eşitlikle yapılabilir (Jardin, 1975).

$$\text{Frekans Aralığı} = \sqrt{\frac{r(t) \cdot R_z}{M_z} \times \frac{V+R}{V+M}} \quad (9)$$

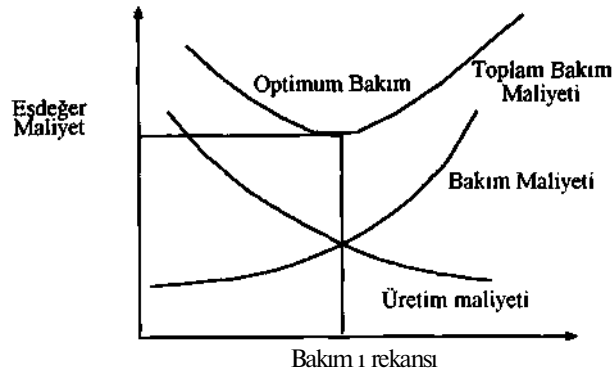
r(t):Ortalama bozulma oranı; Rz: Ortalama tamir zamanı; Mz: Ortalam bakım zamanı, V: Bakım boyunca üretim kaybından dolayı ortaya çıkan kayıp gelir miktarı, R: Tamir masrafı, M: Bakım maliyeti.

4-) BAKIM MALİYETİ TAHMİNİ

Düzenli frekanslarla önleyici bakıma alınan ekipmanların bakım ve tamir maliyetleri sürekli olarak değişmekte ve bir zaman dilimi içerisindeki artışını tesbit etmek de oldukça zorlaşmaktadır. En genel haliyle, bakım maliyetleri başlıca şu maliyetlerden meydana gelir.

- Teşhis ve muayene maliyeti.
- Arızalanan parçanın değiştirilme maliyeti.
- Temizleme, yağlama maliyeti ve işçilik maliyeti.
- Üretim kaybı maliyeti.

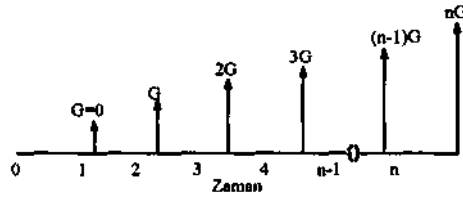
Bu bakım maliyetleri arasında ters bir ilişki vardır. Örneğin üretim maliyeti, eğer ekipman önleyici bakım sonrası iyi bir performans gösterirse, diğer maliyetler zamanla artış gösterirken bu düşüş gösterir (Şekil-4).



Şekil-4 Optimum Bakım

Optimum önleyici bakım, üretim maliyeti ile bakım maliyetinin kesiştiği yerdir. Bu noktadan sonra yapılacak bakım artık ekonomik olmayacak ve ekipman mutlaka yenilenecektir. Öte yandan, ekipmanların bakım maliyetlerinin ekipmanların faydalı ömürleri boyunca nasıl artış göstereceğinin tahmini tam bir problem teşkil etmektedir. Ekipman üreticileri bakım maliyetlerinin tahminini, toplam ekipman maliyetinin belli bir yüzde oranı veya amortisman değerinin belli bir oranını olarak düşünürler. Ancak bu tür tahminler ilk yıl için geçerli olup, sonraki yıllarda bakım maliyetleri nasıl bir artış trendi izleyeceğini tahmin etmek kolay değildir. Özetle, kullanılmış ekipmanların kayıtlarından ve geçmiş deneyimlerden faydalanarak belli bir zaman dilimi içerisinde bakım maliyetlerinin tahminleri aşağıdaki metotlarla yapılabilir (Cebesoy, 1993).

Aritmetik Gradyant Yöntemi: Bu yöntemde ekipman bakım maliyetleri belli bir sabit gradyan (G) ile artış gösterir. Bu gradyanın tahmini büyük ölçüde karar vericinin deneyimine bağlı olup, olası beklenti gradyan Monte Carlo tekniği ile bulunabilir (Şekil-5)



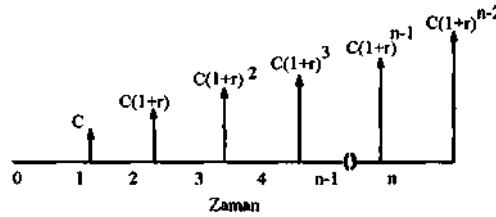
Şekil-5 Aritmetik Gradyant

Böyle G kadar sabit aritmetik değer ile artış gösteren bakım maliyetlerinin belli bir zaman dilimi üzerindeki eşdeğer maliyeti bağıntı (10) yardımıyla hesaplanabilir.

$$A = C + G \left[\frac{1}{i} - \left(\frac{n}{(1+i)^n - 1} \right) \right] \quad (10)$$

A: eşdeğer maliyeti, C ilk yıl tamir-bak'tı maliyeti, G Aritmetik gradyant, i faiz oranı, n zaman

Geometrik Gradyant Yöntemi: Bu yöntem aynı aritmetik gradyant benzer olup, tek farkı bakım maliyetleri her yıl sabit bir aritmetik gradyant ile değil de belli yüzde gradyant ile artış göstermesidir (Şekil-6). Bu sabit yüzde gradyantın tahmini yine olasılık analizi (Monte Carlo tekniği) yardımıyla yapılabilir.



Şekil-6 Geometrik Gradyant Metot

Bakım maliyetlerinin şimdiki değeri bağıntı (11) yardımıyla hesaplanır;

$$P = C \times \left[\frac{1}{(1+i)^1} + \frac{(1+r)}{(1+i)^2} + \dots + \frac{(1+r)^{n-1}}{(1+i)^n} \right] \quad (11)$$

P.Şimdiki değeri.C.İlk yıl bakım maliyeti, r.Geometrik gradyan, i:Faiz oranı, n. Zaman.

Örnekleyici olması açısından, bakım frekans aralığı ve bakım maliyetlerinin tahmini bir sayısal uygulama ile de açıklanabilir.

Sayısal uygulama: Bir açık işletme linyit ocağında yükleme faaliyetinde kullanılan bir loder, önleyici bakım ile periyodik olarak bakıma alınmakta ve toplam tamir maliyetlerinin her ay 200\$, bakım maliyetlerinin her ay 100\$ aritmetik olarak aylık (i) %2 faiz haddi ile 5 ay boyunca artış gösterdiği kabul edilmektedir. Problemlerle ilgili tüm veriler ve hesaplamalar Çizelge-1 ve Çizelge-2 verilmiş olup, ekipmanın yenileme zamanını, aylık eşdeğer tamir ve bakım maliyetlerini ve önleyici bakımın frekans aralığını tesbit edelim.

Çizelge -1 Maliyet Verileri ve Hesaplan

Aylar (D)	Tamir Maliyet. (2)	Bakım Maliyet. (3)	Amortismanlar (4)	Top.Maliyetler (5= 2+3+4)	NPV Değerleri (6= 5/(1+i) ⁿ) ^{lar}	Kümülat. NPV (7 = £ 6)	Ortalama NPV (7/1)
1	1000	500	450	1950	1912	1912	1912
2	1200	600	150	1950	1874	3786	1893
3	1400	700	50	2150	2026	5812	1937
4	1600	800	0	2400	2217	8092	2007
5	1800	900	0	2700	2445	10537	2107

Not: Maliyetler (\$) olarak belirtilmiştir

Görüldüğü gibi, lodenn toplam maliyeti ikinci yılın sonunda hemen arttığından loder bu yılın bitiminde yenilebilir.

Çizelge-2. Bakım Frekans Verileri

Ortalama avlık bozulma oranı	1defa
Ortalama tamir zamanı	8 saat = 0.011 ay
Ortalama bakım zamanı	5 saat = 0.007 av
Aylık üretim kaybı maliyeti	\$1000

Not bir ay 30 gün, 1 gün 24 saat alınmıştır

$$\text{Aylık eşdeğer tamir maliyeti} = 1000 + 200 \left[\frac{1}{0.02} - \left(\frac{1}{(1+0.02)^5} - 1 \right) \right] = 1329. \quad \text{Aylık eşdeğer bakım maliyeti} = 500 + 100 \left[\frac{1}{0.02} - \left(\frac{1}{(1+0.02)^5} - 1 \right) \right] = 696$$

$$\text{Frekans aralığı} = \sqrt{\frac{1 \times 0.011}{0.007} \left(\frac{1000 + 1329}{1000 + 696} \right)} \approx 2, \quad \text{loder periyodik olarak ikinci yılın sonuna kadar ayda 2 defa önlüyci bakıma alınmalıdır}$$

5-) SONUÇLAR

Artan bir hiper rekabetin ortamında, kaynakların kıt ve sınırlı olması fakat buna karşın beklentilerin sınırsız olması ve ekonomik bakımından zor durumda olan birçok maden işletmesini iktisadi üretim modeline zorlamakta ve birçok maden işletmesi eldeki mevcut olanaklarını en iyi şekilde kullanmanın ve iyileştirmenin yollarını aramaktadırlar. Bu noktadan hareketle, gerek işletme yatırım sermayesinin ve gerekse değişken maliyetlerin önemli bir kısmını tutan ekipmanların verimli kullanılmaları ve önleyici bakım modeli ile bakıma alınmaları akla gelen ilk çözümler olmuştur, önleyici bakım modelinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, dezavantaj gibi gözüksede ekipman kullanım güvenilirliğini sağladığı için her zaman tercih edilmelidir. Ayrıca başlangıçta karmaşık gibi gözüken bu bakım modeli bir defa sistematikleştirildiğinde tamir-bakım maliyetlerinin marjinal artışında, dikkate değer azalmalar olmakta ve daha da önemlisi ekipmanın ekonomik ömrü artırılarak yenilenme zamanı ertelenebilmektedir.

6-) KAYNAKLAR

1. CEBESOY, T., Equipment Cost Modelling System For Discontinuous Surface Mining Equipment, Ph.D. Thesis, Nottingham University, January 1993, pp:322.
2. CHATTERJEE, T.K. and KUMAR, K., Shovel Electrical System and its Reliability Improvement, Journal of Mines Metal&Fuels, June 1987, pp:295-301.
3. CHADWICKS., Maintaining Productive Earth mover Performance, Mining Magazine, January 1992, pp: 20-26.
4. CLARK, D. Reliability and Maintainability and Cost Effectiveness in Machine Design, Mining Technology, February 1990, pp: 55-60.
5. CZAPLICKI, J.M., A Simple Method for Estimation of Shovel-Truck System Efficiency, Mineral Research Engineering, March 1990, Vol.3, No:1, pp: 21-29.
6. DRINKWATER, R.W and HASTING, N.A.J., A Study of Equipment Replacement, Operational Research Quarterly, 1967, Vol: 18: pp:121.
7. HIND, D.J., Maintenance the state of the Art, Mining Technology, January 1989, pp:10-13.
8. JARDIN, A.K.S., Maintenance, Replacement and Reliability, McGraw-Hill, 1975, p:299.
9. NGUYEN, D.G. and MURTHY, D.N.P., A Combined Block and Repair Limit Replacement Policy, Journal of Operations Research Society, July 1984, Vol:35, pp: 653-658.