

MADEN MAKİNALARINDA KORUYUCU BAKIM ONARIM PLANLAMASI

PREVENTIVE MAINTENANCE PLANNING FOR MINING MACHINES

S. G. Ercelebi
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

H. Ergin
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET: Maden işletmelerinin zor çalışma koşulları altında üretim faaliyetlerinin kesintisiz bir şekilde devamı için etkin bir koruyucu bakım onarım planlamasının istatistiksel yöntemlerle nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Yöntemler analitik ve grafik yöntemler olarak iki kısımda incelenmiş ve uygulamaları gösterilmiştir. Yeraltı maden işletmesi örneği olarak mekanize uzun ayak seçilmiş ve ayakta tamburlu kesici için koruyucu bakım onarım planlaması yapılmıştır. Açık işletme örneğinde elektrikli ekskavatöre uygulanması gereken optimum bakım onarım zamanlamasının TTT grafik yöntemi ile her 32 saatte bir olacağı bulunmuştur.

ABSTRACT: Preventive maintenance planning by using statistical techniques, for mining machines operating under harsh environmental conditions, is explained. The methods are analyzed in two sections, analytical and graphical, and applications are demonstrated. As an underground mining example, mechanized longwall mining is considered and preventive maintenance planning to the shearer is applied. In surface mining example, the timing intervals of the preventive maintenance for the shovel is found as 32 hours by using TTT graphical method.

1 GİRİŞ

Gelişen teknolojinin hızlı değişimine ayak uydurmanın yanında bugün işletmelerde sahip olunan makina ve ekipmanlardan maksimum yarar elde etmek ancak iyi bir bakım onarım planlaması ile sağlanacaktır. Makinaların yenilenmelerinin yüksek maliyetleri bunun önemini bir kat daha artırmaktadır. Verimlilik ve karlılık makina ve ekipmanların çalışma sürelerine ve ömürlerinin uzunluklarına bağlıdır. Bakım onarım çalışmaları, işletme maliyetinin %20-40'ını teşkil eden bakım onarım masraflarını, makinaların bozuk olduğu süreye bağlı olarak üretim kayıplarını ve makina alımı için kullanılacak sermaye yatırımlarını etkileyecektir.

Bir işletmede çalışan her türlü makinanın, işletme şartlarına göre zaman zaman arızalanması ve üretim faaliyetlerini etkilemesi söz konusudur. Bunun özellikle maden işletmelerinde aşındırıcı ve yıpratıcı çalışma koşulları gözönüne alındığında önemi daha da artmaktadır. Üretim sisteminin etkin ve kesintisiz bir şekilde çalışması, sistemi oluşturan makina ve yardımcı tesislerin kesintisiz çalışmasına bağlıdır. Üretim planlarının aksamadan yürütülmesi makinaların bakımlarının düzenli ve etkin yapılması ve böylece sistemdeki makina arızalarından kaynaklanan durmaların en aza indirilmesi ile gerçekleşecektir.

Düzenli ve planlı koruyucu bakım onarım yapılmasıyla;

- üretim yapan makinaların duraklamasını en aza indirerek mümkün olan en yüksek düzeyde üretimin sağlanması,
 - önceden hazırlanan üretim planlarının sağlanması,
 - makinaların ömrünün uzatılması,
 - arızaların zamanında ve önceden tespit edilerek maliyeti yüksek arızalara yol açmalarının önlenmesi,
 - toplam bakım ve onarım masraflarının azaltılması,
 - nihai ürün kalitesinin artırılması,
 - piyasaya ürün sunulmasında aksaklıkların önlenmesi,
- mümkün olacaktır

2, TANIMLAR

Bir makina veya sistem için yapılan çeşitli bakım onarım çalışmaları tanımları aşağıda verilmiştir

Acil Bakım (Arıza Onarımı) Üretim makinalarının hatalı kullanımı, ekipman tasarım hatasından veya makinaların eskimesinden kaynaklanan ve üretimde duruşa neden olan arızaların giderilmesi için yapılan bakım faaliyetidir.

Koruyucu Bakım Onarım Önceden planlanan zaman aralıklarında makinaların beklenen performans

gösterebilmeleri ve beklenmeyen arızalan en aza indirmek için yapılan bakım onarım çalışmalarını bu gruba girer. Koruyucu bakım onarım ayrıca sonradan arızaya neden olabilecek durumların tesbiti, gidenilmesi ve genel bakım ve temizlik faaliyetlerini de içerir.

$F(t)$ sistemin veya bir makinanın bozulma zamanları dağılımı olarak tanımlanmıştır.

$$F(t) = P(X \leq t) = \int_0^t f(x) dx \quad (D)$$

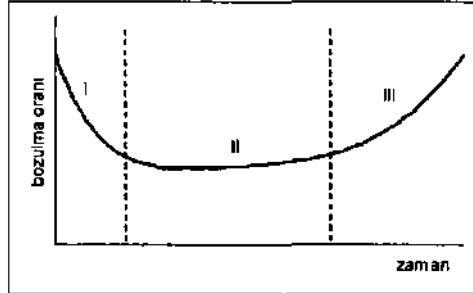
Burada X = makinanın bozulmasına kadar geçen süre $f(x)$ = olasılık yoğunluk fonksiyonu'dur.

Bozulma oranı fonksiyonu $q(t)$, eğer makina t zamanında çalışıyor ise, makinanın $(t, t+dt)$ zamanı içinde bozulma olasılığı olarak tanımlanır-

$$q(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2)$$

$R(t)$ = makinanın güvenilirliği

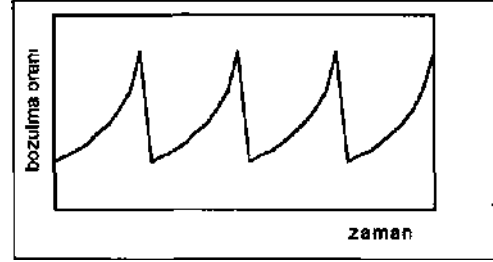
Eğer $q(t)$, zaman içinde artan bir fonksiyonsa, bakım onarım planlaması yapılmalıdır. Bunu sağlayan istatistiksel dağılımlara örnek olarak Weibull, Gamma ve normal dağılımları verebiliriz. Bir sistemin veya makinanın bozulma oranı fonksiyonu ekonomik ömür içinde genel olarak bir kuvvet eğrisi ile ifade edilmektedir (Şekil 1)



Şekil 1 Bozulma Oranı Kuvvet Eğrisi

Şekil 1'de görüldüğü gibi kuvvet eğrisi üç kısımda bozulmaları göstermektedir. İlk kısımda makina montajı veya tasarımından kaynaklanan hatalar oluşmakta, sistem yerine oturdukça zaman içinde bu bozulmalar azalmaktadır (Azalan Bozulma Oranı). Bu süre mekanik sistemler için genellikle çok kısa bu

süredir. İkinci kısım eğer düz olduğu kısma karşılık gelir ve şans veya rassal bozulmaları temsil eder (Sabit Bozulma Oranı). Son kısım ise makinanın aşınmaya veya yaşlanmaya başladıktan sonra zaman içinde bozulmaların giderek arttığı kısımdır (Artan Bozulma Oranı). Bir sistem veya makina bu bölgeye geldiğinde koruyucu bakım onarım planlaması yapılarak bozulma oranı fonksiyonunun artışı düşürülmelidir. Bu kavram Şekil 2'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2: Bozulma Oranı Şematik Görünüşü

Bozulma oranı zaman içinde şekilde görüldüğü gibi artmakta, koruyucu bakım yapıldıktan sonra ise orijinal haline geri dönmektedir.

3 KORUYUCU BAKIM ONARIM MODELLERİ

Bir üretim sisteminde koruyucu bakım onarım planlaması yapılırken gözönüne alınacak başlıca kriterler, sistemin veya sistemdeki makinaların kullanım oranlarının maksimize edilmesi, veya sistemin bakım için harcanan maliyetinin minimize edilmesi olacaktır. Bu amaçla güvenilirlik ve olasılık prensiplerini kullanan modeller ve grafik yöntemler hakkında bilgi aşağıda verilmiştir.

3.1. Analitik Modeller

Barlow ve Hunter (1960) koruyucu bakım onarım planlaması için iki ayrı yaklaşım önermektedir.

Birinci yöntemde koruyucu bakım, sistemin bozulmasından önce t_0 saat çalışmasından sonra planlanır. Eğer sistem t_0 saatten önce bozulursa, bozulma esnasında koruyucu bakım başlatılır. Daha sonra koruyucu bakım tekrar planlanır.

İkinci yöntemde koruyucu bakım, sistemin daha önce kaç defa bozukluğuna bakılmaksızın t_0 saat

çalışmasından sonra planlanmaktadır. /' süresinden önceki arızalarda minimum onanm yapılarak sistem üretim faaliyetine geri döndürülmektedir. Bu yaklaşımda minimum onarımlar sistemin bozulma oranı değiştirmeyecektir. Her iki yöntem için de bir varsayım koruyucu bakım onanm sonrası sistem Şekit 2'de olduğu gibi orijinal haline geri dönmektedir .

Her iki yöntem için de planlama sistemin beklenen çalışma süresini $[0, T]$ zamanlan arasında maksimize edilerek sağlanır Sistemin çalışma süresinin maksimize edilmesi aynı zamanda toplam bakım onanm maliyetinin minimize edilmesi sonucunu verir.

-Barlow ve Hunter (1960) makalesinde,

Eff_r = Sistemin $[0, T]$ süresi içinde beklenen çalışma süresi olarak tanımlanmıştır ve T sonsuza giderken :

$$Eff_{\infty} = \lim_{T \rightarrow \infty} Eff_T \quad (3)$$

Bakım onanm planlaması Eff_m değerini maksimize eden t_g veya c' zamanı bulunarak sağlanır

Birinci yöntemde t_0 suresi

$$q(t_0) \int_0^{t_0} [1 - F(t)] dt - F(t_0) = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad \text{eger } T_2 > T_1 \quad (4)$$

ifadesini sağlayan t_0 değeridir Burada:

T_1 = anza onanm süresi ve

T_2 = planlanan koruyucu onanm süresidir

Eğer $T_1 = T_2$ ve $T_1 < T_2$, ise, $t_0 = \infty$ sonucu bulunur.

Bunun anlamı sistemde koruyucu bakım onanm yapılmamasıdır Yani koruyucu bakım onanm yapılması sistemin bozulma oranını değiştirmeyecektir

İlk yöntem için çözüm,

$$Eff_{\infty} = \frac{\mu}{\mu + T_1} \quad \text{if } T_1 \leq T_2 \quad (5)$$

$$Eff_{\infty} = \frac{1}{1 + (T_2 - T_1)q(t_0)} \quad \text{if } T_2 > T_1$$

Burada J bozulma su esinin ortalama değeridir

ikinci yöntem için çözüm.

$$Eff_{\infty} = \frac{1}{1 + T_m q(t^*)} \quad (6)$$

* m = beklenen minimum tamir süresi

(3) ifadesini maksimize eden /

$$\int_0^{t^*} tq(t) dt \frac{T_1}{T_m} \quad (7)$$

eşitliğinden bulunur

Yukandaki (4) ve (7) ifadelerinde eğer bozulma oram fonksiyonu zaman içinde artan bir fonksiyonsa bu ifadeler için her zaman tek bir çözüm vardır Buraya kadar sistemin çalışma oranını maksimize eden çözümler anlatıldı Çözümlerin toplam maliyeti minimize etmesi istendiğinde, T_m, T_1 ve T_2 zaman değerleri yerine beklenen saatlik tamir maliyedendir. Bu durumda saatlik beklenen toplam maliyet $(1/\lambda \# \# \# - D o l u r$

3.2. Grafik Modeller (TTT Grafiği)

TTT plot tekniği basit ve kullanımı kolay bir tekniktir. Barlow ve Campo (1975) tarafından geliştirilmiştir Problem uzun dönemde ortalama maliyeti minimize edecek bir koruyucu bakım onanm planlaması yapmaktır. Eğer c koruyucu bakım onanm maliyeti ve k anza onanm maliyeti olarak alınırsa, ve $t_{(1)}, t_{(2)}, \dots, t_{(n)}$, $F(t)$ fonksiyonundan sıralanmış n gözlem ise

$$T_i = nt_{(i)}$$

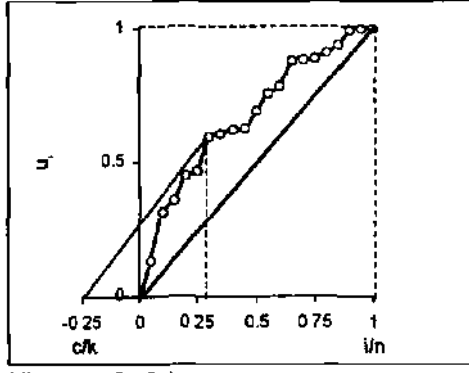
$$t_{(i)} = \sum_{j=1}^i (n - j + 1)(t_{(j)} - t_{(j-1)}) \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$t_{(0)} = 0$$

Buradan i, j, k yaşından önce i bozulmanın oluştuğu toplamı zaman ve

$$u_i = \frac{T_i}{T_n} \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

Sonuçta TTT-grafiği n değerlerim $i > n$ değerlerine karşılık grafik olarak göstermekle elde edilir (Şekil 3)



Şekil 3. TTT Grafiği

Şekil 3'de örnek olarak gösterilen TTT grafiğinde eğer eğri konveks ise, küvet eğrisindeki III. bölgeye yani artan bozulma oranı bölgesine karşılık gelir. Eğri konkav olduğunda I. bölgedeki azalan bozulma oranını temsil eder. 45 derecelik doğrusal eğri ise sabit bozulma oranını gösterir

i/n eksenini üzerindeki $(-c/kfi)$ noktasından oluşan TTT eğrisine bir teğet çizecek olursak bu teğet doğrusunun eğriye teğet olduğu noktanın i/n ekseninde karşılık geldiği zaman noktası koruyucu bakım onanm planlaması yapılması gereken zaman aralığıdır

4. ÖRNEK UYGULAMALAR

örnek yeraltı maden işletmesi olarak bir mekanize uzun ayak işletmesi alınmıştır Uygun bakım onanm planlaması yapılarak sistemin randımanında olabilecek artışlar gösterilmiştir Açık işletme örneğinde ise ekskavatör çalışma suresinin maksimize edilebilmesi için uygulanması gereken bakım onanm planı çıkarılmıştır

4.1. Yeraltı Maden İşletmesi

Mekanize bir uzun ayakta çalışan makinalar tamburlu kesici, zincirli oluk, hidrolik yürüyen tahkimat üniteleri, ara yükleyici, ve panel bantı'dır Ayakta çalışan makinalardan toplanan bozulma verileri incelenmiş ve bozulma dağılımları çıkarılarak sonuçlar Tablo 1'de topluca gösterilmiştir Tablodan ayakta çalışan makinaların arıza yapmadan önce ortalama çalışma süreleri ve bu sürelerin standart sapması görülebilir Ayrıca verilere en iyi uyan

İstatistiksel dağılımlar ve bu dağılımların parametreleri de tabloda verilmiştir.

Tablo 1 : Mekanize Uzun Ayak İstatistikleri

Makina	Çalışma Süresi		Entyü Dağılım	Büyük. Para-metresi	Şekil Para-metresi
	Ort. Değer	Stand Sapma			
Tamburlu Kesici	3.55	1.87	Weibull	0.2492	2.01
Zincirli Oluk	13.88	8.29	Weibull	0.0643	1.72
Hidrolik Tahkimat	31.95	24.35	Weibull	0,0287	133
Ara Yükleyici	38.39	43.45	Üste!	0.0260	-
Panel Bantı	56.48	52.98	Weibull	0.0172	1.07

Makina çalışma sürelerine %90 Weibull dağılımının en iyi dağılım olarak uyduğu literatürde ifade edilmiştir. Bu durumun maden makinaları için de geçerli olduğu işletmelerden toplanan verilerden görülmüştür. Ven analizleri sonucunda, incelenen mekanize uzun ayakta çalışan makinalar içinde sık sık anzalara ve bunun sonucu olarak durmalara yol açan sistem elemanının tamburlu kesici olduğu ortaya çıkmıştır. Tamburlu kesici ortalama her 3.5 saatte bir arıza yapmaktadır. Bu yüzden koruyucu bakım onanm planlaması yapılırken ön planda tamburlu kesicinin tutulması yararlı olacaktır.

Weibull dağılımı ve bozulma oranı aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
 F(t) &= 1 - \exp(-\lambda t)^\beta \\
 f(t) &= \lambda^\beta \beta t^{\beta-1} \exp(-\lambda t)^\beta \\
 h(t) &= \lambda^\beta \beta t^{\beta-1}
 \end{aligned}
 \quad (10)$$

λ ve β büyüklük ve şekil parametreleridir. 3 bölümde açıklanan yöntemlerden ikinci yöntem Weibull dağılımı uygulanarak bir koruyucu bakım onanm planlaması yapılacak olursa (6) ve (7) eşitlikleri şöyle olacaktır

$$Eff_m^{1/\beta} = \frac{1}{1 + [\beta T_s / (\beta - 1)] \left[(\beta - 1) \lambda^\beta T_m^{1/\beta} / T_s \right]} \quad (11)$$

$$t^* = \left\{ \frac{T_s}{[(\beta - 1) \lambda^\beta T_m]} \right\}^{1/\beta} \quad (12)$$

Yukarıdaki eşitlikleri uzun ayak verilerine uygularsak tamburlu kesiciyi Tablo 2'de görülen sürelerde

bakıma almak gerekecektir Bu uygulama sonucu makinanın verim artışı da tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2. Uzun Avak Koruyucu Bakım Sonuçları

T/T ₀ oranı	Bakıma alma süresi, /% (saat)	Verim, Eff., (%)	
		% _{0 < T₁}	T ₀ 1 0 saat
2	2 80	85 17	74 17
3	3 43	80 72	61 61
4	3.96	80 18	66 92
5	4 42	78 36	64 42

Görüldüğü gibi koruyucu bakım onarım süresi arıza onanım süresiyle mukayeseli olarak arttıkça makinayı bakıma alma süresi azalmaktadır

4 2 Açık işletme

Açık işletmede koruyucu bakım onarım yapılması öngörülen makına olarak elektrikli ekskavatör seçilmiştir. Bir açık kömür işletmesinde kömür üretiminde çalışan bir ekskavatöre ait arızalar arası gözlenen çalışma süreleri saat olarak şöyledir 27 13, 76.01, 94.55, 17 11 29 52, 50 28, 70 79, 71 19, 32.15, 23 06, 124 25, 22.13, 72 92, 25 87, 59.96, 60.07, 100 84, 81.83, 90 54, 57 37 Bu değerlerin istatistiksel analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 3'de gösterilmiştir

Tablo 3. Elektrikli Ekskavatör İstatistikleri

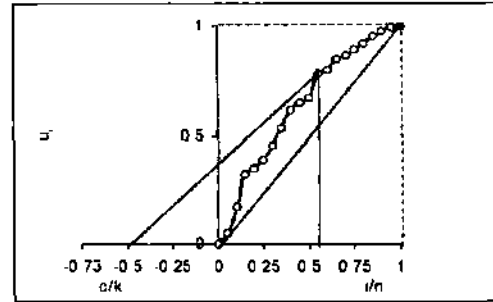
Makına	Çalışma Süresi		En İyi Dağılım	Şekil Parametresi
	On Değer	Stand Sapma		
Elektrikli Ekskava	59 37	30.56	Wcibull	0 0158 1 62

Gözlenen değerler kullanarak ITT grafik yöntemi ile ekskavatöre bakım onarım planlaması yapılmıştır Elde edilen TTT grafiği Şekil 4'de görülebilir

Koruyucu bakım onarım maliyeti c, ilc ekskavatörün bozulması halinde tamir ve üretim durmasından kaynaklanan maliyet A'nın oranı 0 S alınırsa

$$\frac{f}{n} = \frac{12}{20} = 0.6 \text{ ve buna karşılık yelen /aman}$$

$$\frac{f}{n} = \frac{618 17}{12} = 31 9 \text{ saat bulumu}$$



Şekil 4- Ekskavatör için TTT Grafiği

Yarı ekskavatör koruyucu bakım onarıma yaklaşık 32 saatlik bir çalışmadan sonra alınmalıdır Bu taktirde 32 saate kadar geçen süre içerisinde ekskavatörün bozulma olasılığı 0 6'dır

5 SONUÇ

Maden işletmelerinin yıpratıcı çalışma koşullarında, çalışan makmalardan yüksek verim elde etmenin onemi açıktır Yüksek venm ancak doğru makına seçimi ve uygun bakım onarım planlaması ile sağlanacaktır, işletmelerde planlı bir bakım onarım politikası takip edilmesi, üretim faaliyetlerinin en az kesintiye uğrayarak devam etmesini ve böylece maksimum üretimin gerçekleşmesini sağlayacaktır Bu amaçla istatistiksel bakım onarım planlaması yöntemlerim uygulayarak işletmelerde verimi artırmak ve maliyeti azaltmak mumkun olacaktır

Örnek çalışmalarda, yeraltı ve açık işletmelerde kritik makınalar olarak seçilen lamburlu kesici ve elektrikli ekskavatöre bahsedilen yöntemlerin uygulaması sonucunda yapılacak koruyucu bakım onarım ile makınalann veriminde olabilecek artışlar açıkça görülmektedir

KAYNAKLAR

Barlow R and L Hunter , 1960, *Optimum Preventive Mtuntenume Policies, Operations RcsstMiül. v X. W-100*

Beıgmanji mid 11 Klrfşju, l'>84 I he Iota! Time on lest t'oiticff tuil lis Us,- m l<</nihility 'theory, , Ojh'Killiins lies, tin h \ i'.. ^/-(-)(!(>

Bergman B, 1977, *Some Graphical Methods for Maintenance Planning*, Proceedings 1977 Annual Reliability and Maintainability Symposium, 467-471

Dhillon, B S and O C Anude, 1992, *Mining Equipment Reliability: A Review*, Microelectronics and Reliability, v 32, 1137-1156

Kumar, U and S Granholm, 1988, *Reliability Techniques' A Powerful Tool for Mine Operators*, Mineral Resources Engineering, v 1,13-28