

65211

**MADEN İŞLETMELERİNDE İŞ MAKİNALARININ ETKİNLİĞİNİ VE  
VERİMLİLİĞİNİ ARTIRMAYA YÖNELİK BİLGİSAYAR DESTEKLİ  
BİR TAMİR BAKIM PROGRAMININ HAZIRLANMASI**

*Sermin ELEVLI*  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Danışman:** Prof. Dr. Ahmet DEMİRCİ, Maden Mühendisliği Bölümü

**ÖZET**

**ABSTRACT**

**TEŞEKKÜR**

**İÇİNDEKİLER**

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

**TABLolar DİZİNİ**

**1. GİRİŞ**

**2. EKİPMANLARIN MALİYET MİNİMİZASYONUNDA DİKKATE ALINMASI GEREKEN ÖNEMLİ KRİTERLER**

2.1. Verimlilik

2.2. Hazır Bulunma

2.2.1. Güvenilirlik

2.2.2. Bakım Kolaylığı

**3. BAKIM**

3.1. Bakımın Tanımı ve Önemi

3.2. Bakımın İşletme Faaliyetleri Üzerindeki Etkileri

3.2.1. Ekipman Değişirme Süresi Üzerine Etkileri

3.2.2. Üretim Üzerindeki Etkileri

3.2.3. Maliyet ve Beklenen Kar Üzerindeki Etkileri

3.3. Bakım Türleri

3.4. Bakımın Temel İlkeleri

3.5. Bakım Politikaları

3.5.1. Bozulma Bakımı Politikası

3.5.2. Önleyici Bakım Politikası

3.5.2.1. Periyodik Bakım Politikası

3.5.2.2. Tahmini Bakım Politikası

3.5.2.2.1. Gerçek Zamanlı Tahmini Bakım Politikası

3.5.2.2.2. Hesaplama Esaslı Tahmini Bakım Politikası

3.6. Bakım Politikalarının Değerlendirilmesi

**4. BİLGİSAYAR TEKNOLOJİSİNİN BAKIM FAALİYETLERİNDE KULLANIMI**

4.1. Bakım Bilgi Sistemi

4.2. Bilgisayar Destekli Bakım Bilgi Sistemi: BAKPRO

4.3. BAKPRO' nun Gerçek Verilerle Çalıştırılması

**5. SONUÇ**

**KAYNAKLAR**

**ÖZGEÇMİŞ**

## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ' NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan.....Prof. Dr. Ahmet Demirci.....*Dr. Demirci*  
Üye.....Doç. Dr. Atilla Ceylanoğlu.....*Atilla*  
Üye.....Yrd. Doç. Dr. Ali Kahrıman.....*Kahrıman*  
Üye.....  
Üye.....

### ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

30/9/1996  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ  
Prof. *Gelik*  
CELİK

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan "Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Klavuzu" adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

**ÖZET**

Yüksek Lisans Tezi

**MADEN İŞLETMELERİNDE İŞ MAKİNALARININ ETKİNLİĞİNİ VE VERİMLİLİĞİNİ ARTIRMAYA YÖNELİK BİLGİSAYAR DESTEKLİ BİR TAMİR BAKIM PROGRAMININ HAZIRLANMASI**

Sermin ELEVLİ

Cumhuriyet Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet DEMİRCİ

Bir madencilik faaliyetinin karlılığı büyük oranda ekipmanların verimliliğine bağlıdır. Özellikle günümüz rekabet ortamında tüm çabaların üretim maliyetlerini düşürmek üzerine odaklanması, ekipmanların verimli bir şekilde çalıştırılmasına olan ihtiyacı daha belirgin bir hale getirmiştir.

Bakım faaliyetleri, ekipmanların verimli bir şekilde çalıştırılmasını sağlayan vazgeçilmez bir araçtır. Etkili bir planlama ve kontrolle yürütülen bir bakım faaliyeti sonucunda; üretim hedefleri yakalanır, ekipman işletme maliyeti azalır ve böylece işletmenin karlılığı artar.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmanın hedefi, bakım yöneticilerine bakım işini planlama ve kontrol imkanı sağlayacak bir "Bakım Bilgi Sistemi" modeli oluşturmaktır. Bu amaçla geliştirilmiş olan model, bir bilgisayar programı haline getirilmiştir. Program, bakım veri tabanı oluşturulmasına, ekipmanın ve alt sistemlerinin arıza davranışlarının incelenmesine ve bir sonraki olası arıza zamanının hesaplanmasına imkan tanımaktadır. Bu programdan elde edilen bilgilerle, bakım performansını değerlendirilebilmekte ve gerekli önleyici bakım planlaması yapılabilmektedir.

*Anahtar Kelimeler:* Ekipman, Bakım, Önleyici Bakım, Güvenilirlik Analizi, Bilgisayar

**ABSTRACT**

Master of Science Thesis

**DEVELOPMENT OF A COMPUTERIZED REPAIR-MAINTENANCE  
PROGRAM TO INCREASE EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY OF  
MINING EQUIPMENT**

Sermin ELEVLI  
Cumhuriyet University- Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mining Engineering

Adviser: Prof. Dr. Ahmet DEMIRCI

Profitability of a mining operation is mainly dependent on the productivity of equipment used. In today's competitive world, all of the efforts are focused on decreasing of the production cost. One way of decreasing production cost is to increase equipment productivity.

Maintenance is a necessary tool to ensure the productivity of equipment. An effective maintenance planning and control result in matching the production targets, decreasing the operation cost and increasing the productivity of operation.

The aim of this study is to develop a "Maintenance Information System" model that enables managers to plan and control maintenance. For this purpose, a computer program has been written that helps to create a data base for maintenance, to evaluate equipment's and subsystems' failure behavior and to estimate next failure time. Maintenance performance can be evaluated and necessary preventive actions can planned using informations provided by the computer program.

Key Words: Equipment, maintenance, preventive maintenance, reliability analysis, computer

## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında ilgi ve desteğini gördüğüm, bilgi ve deneyiminden faydalandığım, yapıcı eleştirileri ile beni yönlendiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Demirci' ye ve tezin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Birol Eleveli' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tezin son şeklini almasında öneri ve eleştirilerini sunan jüri üyeleri Sayın Doç. Dr. Atilla Ceylanoğlu ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Kahrıman' a teşekkür ederim.

Çalışma sırasında gerekli verileri temin etmemde yardımcı olan Barit Maden Türk A.Ş. yetkililerine şükranlarımı sunarım.

Son olarak, değerli fikir ve yorumlarından dolayı Virginia Polytechnic Institute and State University' den Dr. Ertuğrul Topuz, Lulea University of Technology' den Dr. Uday Kumar ve Pamukkale Üniversitesi' nden Dr. Tibet Cebesoy' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. EKİPMANLARIN MALİYET MİNİMİZASYONUNDA DİKKATE ALINMASI GEREKEN ÖNEMLİ KRİTERLER	5
2.1. Verimlilik	5
2.2. Hazır Bulunma	5
2.2.1. Güvenilirlik	7
2.2.2. Bakım Kolaylığı	11
3. BAKIM	12
3.1. Bakımın Tanımı ve Önemi	12
3.2. Bakımın İşletme Faaliyetleri Üzerindeki Etkileri	12
3.2.1. Ekipman Değişirme Süresi Üzerine Etkileri	12
3.2.2. Üretim Üzerindeki Etkileri	13
3.2.3. Maliyet ve Beklenen Kar Üzerindeki Etkileri	14
3.3. Bakım Türleri	15
3.4. Bakımın Temel İlkeleri	17
3.5. Bakım Politikaları	18
3.5.1. Bozulma Bakımı Politikası	18
3.5.2. Önleyici Bakım Politikası	19
3.5.2.1. Periyodik Bakım Politikası	21
3.5.2.2. Tahmini Bakım Politikası	22
3.5.2.2.1. Gerçek Zamanlı Tahmini Bakım Politikası	22
3.5.2.2.2. Hesaplama Esaslı Tahmini Bakım Politikası	23



	<u>Sayfa No</u>
3.6. Bakım Politikalarının Değerlendirilmesi	31
4. BİLGİSAYAR TEKNOLOJİSİNİN BAKIM FAALİYETLERİNDE KULLANIMI	34
4.1. Bakım Bilgi Sistemi	34
4.2. Bilgisayar Destekli Bakım Bilgi Sistemi: BAKPRO	35
4.3. BAKPRO' nun Gerçek Verilerle Çalıştırılması	41
5. SONUÇ	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	50



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 Ekipman Yönetimi Amaçlar Düzeni	2
Şekil 2.1 Optimum Hazır Bulunma	7
Şekil 2.2 Arızalar Arası Sürenin Olasılığının Kümülatif Dağılımı	7
Şekil 2.3 Seri Bağlı Sistem	8
Şekil 2.4 Paralel Bağlı Sistem	9
Şekil 2.5 İşletme Süresi Boyunca Arıza Oranının Genel Durumu	10
Şekil 3.1 Ekonomik Ömrün Belirlenmesi	13
Şekil 3.2 Ekipman Bozulmalarına Bağlı Olarak Maliyet Durumu	14
Şekil 3.3 Bakım Sınıflandırması	16
Şekil 3.4 Bakım Evreleri	17
Şekil 3.5 Bakım Denge Eğrileri	20
Şekil 3.6 Optimum Bakım Periyodunun Tespiti	24
Şekil 3.7 Exponential Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	27
Şekil 3.8 Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	27
Şekil 3.9 Lognormal Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	28
Şekil 3.10 Arıza Oranının Betaya Bağlı Olarak Değişimi	29
Şekil 4.1 Programın Genel Çalışma Sistemi	37
Şekil 4.2 Programın Akış Şeması	38
Şekil 4.3 Arıza Zamanı Tahmini Fonksiyonunun Akış Şeması	40
Şekil 4.4 Liebherr Ekskavatöre Ait İstatistiksel Hesaplamalar	43
Şekil 4.5 Liebherr Ekskavatöre Ait Arızalar Arası Sürenin Eğilimi	43
Şekil 4.6 Liebherr Ekskavatöre Ait Tahmini Arıza Saati	44

## TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
	No
Tablo 4.1 R962HD Liebherr Hidrolik Ekskavatöre Ait Bakım Verileri	42



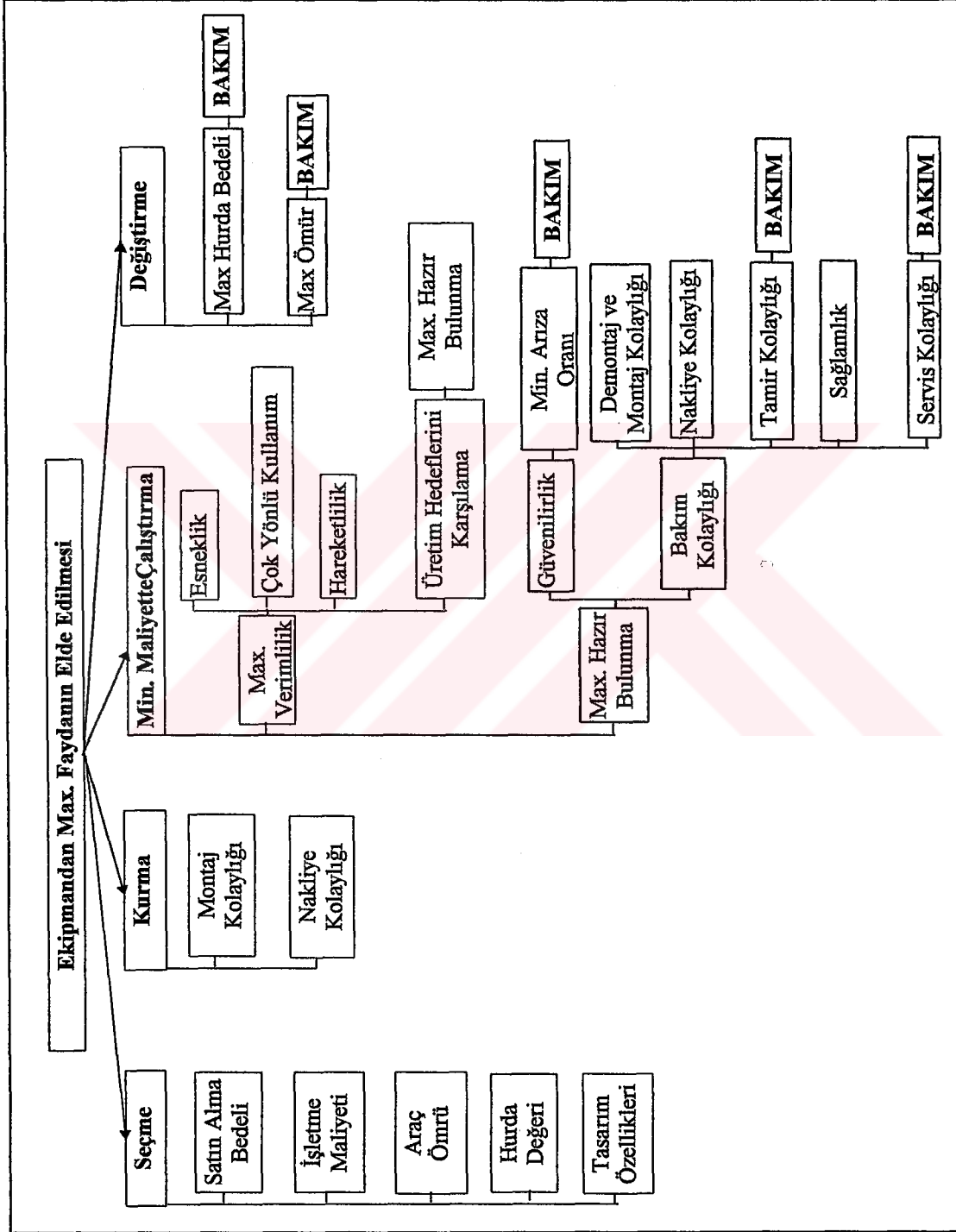
## 1.GİRİŞ

Madencilik, ekipmanların yoğun bir şekilde kullanıldığı bir sektördür. Modeli ve tipi ne olursa olsun tüm ekipmanların kullanıldıkça daha sık arızalanması ve daha uzun süreli tamirde kalması, aşağıdaki olumsuz etkilerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır:

- ◊ *Üretim yetersizliğinden doğan maliyet artışları*
- ◊ *Hizmet kalitesinin düşmesinden kaynaklanan mali kayıplar*
- ◊ *Tamir giderleri*
- ◊ *Bekleme nedeniyle üretici olmayan çalışanlara ödenen ücretler*
- ◊ *Satış anlaşmalarının yerine getirilememesi nedeniyle ödenen cezalar*
- ◊ *Pazardaki saygınlık ve alıcı kaybı*

Bu koşullar altında ekipman yönetiminin hedefi, ekipmanı en az arıza düzeyinde ve maksimum fayda elde edecek şekilde çalıştırmaktır. Sözü edilen hedefe ulaşmak için tarafımızdan geliştirilen ve önerilen amaçlar düzeni Şekil 1.1' de verilmektedir. Bu düzene göre, ekipmandan maksimum faydanın elde edilmesi amacına dört alt düzlem amacıyla ulaşılmaktadır. Bu amaçlar süreklilik arzermeyip, birbirine etki eden ve birbirinin devamı şeklindeki faaliyetlerdir. Ekipmandan maksimum fayda elde edilmesi için gerekli dört amaç kapsamında aşağıdaki hususlar anlaşılmaktadır.

*Seçme (En Uygun Ekipman Seçimi):* Bir madencilik faaliyeti için ekipman alınması düşünüldüğünde, faaliyetin amacına uygun ekipmanın seçilmesi ve yatırımdan arzu edilen faydanın elde edilmesi hususları dikkate alınmalıdır. Seçim esnasında satın alma bedeli anahtar rol oynar, ancak tasarım özellikleri beklenen işi yapacak şekilde değil ise, düşük fiyatın önemi kalmaz. Öte yandan, ekipman ömrü faaliyet süresi ile ilişkili olmalıdır. Yani, faaliyet tamamlandığında ekipmanın faydalı ömrünün bitmesi arzu edilir. İşletme maliyetinin, ekipmandan



Şekil 1.1 Ekipman Yönetimi Amaçlar Düzeni

istenilen düzeyde ekonomik fayda elde edilmesine olan etkisinden dolayı minimum düzeyde olması istenir. Bu hususlara ek olarak; yedek parça temin etme kolaylığı, satış sonrası hizmet ve garantilerde seçim esnasında dikkate alınmalıdır.

*Kurma (Ekipman En Uygun Şekilde Monte Edilmesi)*: Bu aşama kapsamında, ekipmanın işletme bölgesine taşınabilme ve monte edilebilme hususları değerlendirilir. Ekipmanın nakledilmesinde kullanılacak ulaşım ağı ve montaj için gerekli özel eğitilmiş teknik eleman ihtiyacı kısıtlayıcı faktörlerdir.

*Minimum Maliyetle Çalıştırma*: Bir ekipmanın toplam maliyetini, sabit ve değişken maliyetler oluşturur. Özellikle son yıllarda, teknolojik gelişmelere bağlı olarak büyük iş hacmine sahip ekipmanların kullanılması sonucu, toplam maliyet içerisindeki sabit maliyetlerin ağırlığı artmaktadır. Yatırım yapıldıktan sonra sabit maliyetler denetim dışı kalır. Ancak birim maliyet üzerindeki etkisi üretim miktarına göre değişir. Bu noktada, arzu edilen üretim miktarına ulaşılması ve buna bağlı olarak birim maliyetin minimizasyonu ekipmanın verimliliğine ve hazır bulunmasına bağlıdır.

*Değiştirme (Ekipmanın Uygun Zamanda Değiştirilmesi)*: Bu amaç, ekipmanın faydalı ömrüne ulaştığı ve maksimum hurda bedeline sahip olduğu anda değiştirilmesine yönelik hususları içerir.

Şekilde verilen amaçlar düzeninde dikkat edilecek nokta, bakımın, ekipmanı minimum maliyetle çalıştırma ve değiştirme amaçlarını destekleyici özellikte olmasıdır. Bakımın etkisi özellikle min. maliyetle çalıştırma aşamasında önem kazanmaktadır. Çünkü, bakım bu dönemde planlanmakta ve yürütülmektedir. Değiştirme aşamasında ise uygulanan bakım faaliyetlerinin sonucu etkilidir.

Ekipmanlardan maksimum faydayı elde edecek önemli amaçlardan birini oluşturan minimum maliyet kavramı, üçüncü düzlemde maksimum verimlilik ve maksimum hazır bulunma ile ifade bulmakta, dördüncü düzlemde esneklik çok yönlü kullanım, hareketlilik, üretim hedeflerini karşılama, güvenilirlik ve bakım kolaylığı gözükmektedir. Beşinci düzlemde ise, maksimum hazır bulunma, minimum arıza oranı, demontaj ve montaj kolaylığı, nakliye kolaylığı, tamir

kolaylığı, sağlamlık ve servis kolaylığı tezahür etmektedir. Bu amaçlar incelendiğinde ve ilişkilendirildiğinde, bakım faaliyetinin özellikle minimum arıza oranı, tamir kolaylığı ve servis kolaylığında bir araç olma özelliği taşıdığı anlaşılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Şekil 1.1' de verilen minimum maliyetle çalıştırma amacına yönelik büyüklükler tartışılarak, genel hususlar ve bakım politikaları tanıtılacaktır. Daha sonra bakım yönetimine etkili bir planlama ve kontrol imkanı sağlamada faydalı olması amacıyla geliştirilen bilgisayar programı, elde edilen gerçek verilerle çalıştırılmış şekliyle tanıtılacaktır. Son olarak, yapılan bu tezdten elde edilen sonuçlar verilecektir.



## **2. EKİPMANLARIN MALİYET MINİMİZASYONUNDA DİKKATE ALINMASI GEREKEN ÖNEMLİ KRİTERLER**

Şekil 1.1' de verilen amaçlar düzeninde, bakımın uygulandığı ve etkili olduğu ana hususun ekipmanın minimum maliyetle çalıştırılması olduğu anlaşılmaktadır. Minimum maliyetle çalıştırma amacına ulaşmak için, üçüncü düzlemde verilen maksimum verimlilik ve maksimum hazır bulunma amaçlarının operasyonel olduğu anlaşılmaktadır. Bu itibarla, özellikle bu kriterlerinin incelenmesinde fayda mülahaza edilmektedir. Diğer taraftan, maksimum hazır bulunma amacını daha fazla operasyonel yapan, güvenilirlik ve bakım kolaylığı kriterlerinin varlığı sözkonusudur. Dolayısı ile bu iki kriterde ayrıca ele alınacaktır.

### **2.1. Verimlilik**

Şekil 1.1' de verilen esneklik, çok yönlü kullanım ve hareketlilik gibi verimliliğe ait özellikler doğrudan ekipmanın tasarımına yönelik unsurlardır. Bunlar ekipman alındıktan sonra kontrol edilemeyecek faktörlerdir ve verimlilik üzerindeki etkileri sabittir. Ancak, ekipmanın üretim hedefine ulaşabilme özelliğinin etkisi değişkendir. Üretim hedefine ulaşılabilirdiği oranda verimlilik artar. Bu hedefe ulaşabilmek ise ancak ekipmanın hazır bulunması ile mümkündür. Burada verimlilik, üretim hedeflerine ulaşma kapsamında hazır bulunma oranı ile bağlanmakta ve bu orana bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

### **2.2. Hazır Bulunma**

Hazır bulunma kısaca, bir ekipmanın gerektiği zaman memnun edici düzeyde çalışma olasılığı olarak tanımlanabilir. Genel olarak, arızalar arası ortalama süre (AAOS) ve tamir için ortalama sürenin (TİOS) bir fonksiyonu olarak 1 nolu eşitlikteki gibi ifade edilmektedir. AAOS ve TİOS sırasıyla



güvenilirlik ve bakım kolaylığının ölçüsüdür. Bu yüzden hazır bulunma, ekipmanın güvenilirliği ve bakım kolaylığına bağlıdır (Kumar, 1989).

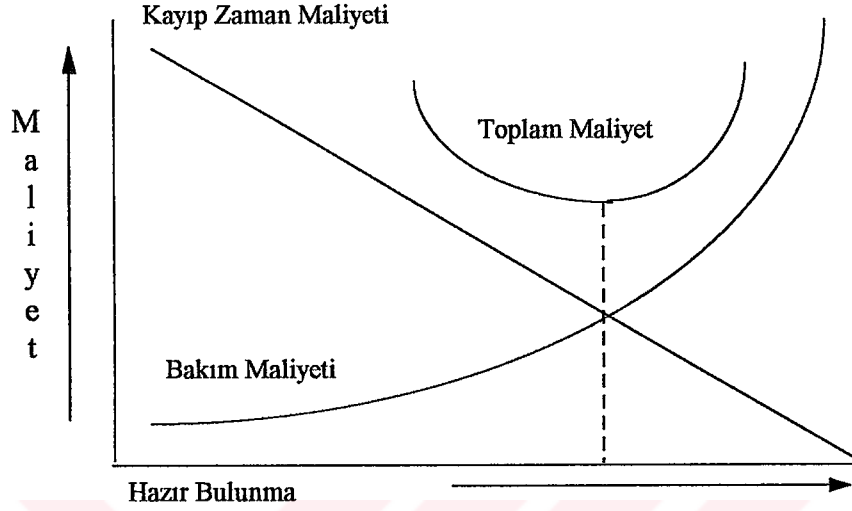
$$\text{Hazır Bulunma} = f(\text{AAOS}, \text{TİOS}) \dots \dots \dots (1)$$

Yukardaki ifadeye bağlı olarak, ortalama hazır bulunma aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir. ( Rothbart, 1986; Kumar, 1989; Vagenas ve Ark., 1994; Kumar ve Ark., 1994)

$$\text{Ort. Hazır Bulunma}(\%) = \text{AAOS}/(\text{AAOS} + \text{TİOS}) \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

Ekipmanın hazır bulunması; yedek ekipmanların bulundurulması, daha güvenilir ekipmanların kullanılması ya da yüksek bir güvenilirlik seviyesi sağlayacak şekilde ekipman bakımının yapılmasıyla artırılabilir. Madencilik faaliyetlerinde genellikle yüksek yatırımlı ekipmanlar kullanılmasından dolayı yedek ekipman bulundurulması alternatifleri ekonomik değildir. Öte yandan ikinci alternatif ise, tasarım değişikliği ve daha uygun malzemelerin gelişimini gerektirmektedir. Bu ise, teknolojik gelişmelere bağlı olarak mümkün olmayabilir. Böylece daha yüksek seviyede güvenilirlikte ekipmanın bakımını yapmak, daha uygun bir alternatif olarak gözükmektedir (Topuz ve Baral, 1982). Topuz' un bu iddiası özellikle büyük kapasiteli ekipmanlar için doğru gözükmektedir.

Hazır bulunmanın artması ile beraber ekipmanın üretimde geçirdiği süre artacak ve buna bağlı olarak kayıp zaman maliyeti azalacaktır. Ancak bu oranı tutturmak için uygulanan bakım sonucu, bakım maliyeti de paralel olarak artacaktır. Bu nedenle Şekil 2.1' te görüldüğü gibi her ekipmanın hazır bulunmasının en ekonomik olduğu, yani toplam maliyetin minimum olduğu bir düzey bulunmalıdır. Bu düzeyin altında bir bakım uygulaması ile ekipman yeterince korunmadığı için arızadan kaynaklanan duruşlar ve buna bağlı olarak kayıp zaman maliyeti fazla olurken, düzeyin üstünde bir uygulamada ise bakım maliyetleri artacaktır.



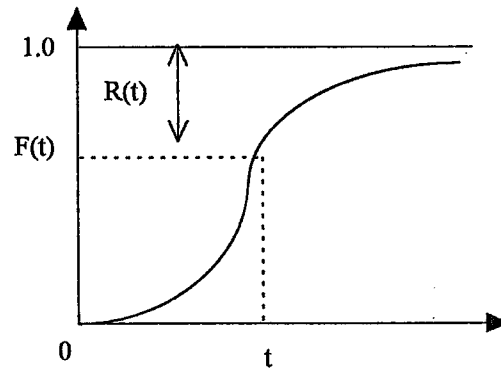
Şekil 2.1 Optimum Hazır Bulunma (Kocacalan, 1983)

### 2.2.1. Güvenilirlik

Güvenilirlik; bir ekipmanın belirli bir zaman aralığında bozulmadan çalışma olasılığı olarak tanımlanmaktadır (Meyer, 1978; Dieter, 1983; Kumar ve Ark., 1994). Pratik olarak bu kavram, genellikle Arızalar Arası Ortalama Süre (AAOS) bazında tarif edilmektedir.

Eğer bir ekipmanın herhangi bir  $t$  zamanındaki güvenilirlik olasılığı  $R(t)$  ise aynı zamandaki bozulma olasılığı  $F(t)$ ' dir. Şekil 2.2' de takip edilebileceği üzere  $R(t)$  ve  $F(t)$  arasında aşağıdaki ilişki söz konusu olacaktır (Dieter, 1983).

$$R(t) + F(t) = 1 \dots\dots\dots(3)$$



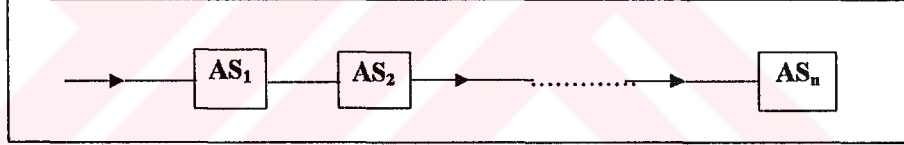
Şekil 2.2. Arızalar Arası Sürenin Olasılığının Kümülatif Dağılımı

Bu ilişkilerden hareketle, aracın güvenilirliği (4) nolu denklemde verildiği gibi belirlenebilir (Meyer, 1978; Dieter, 1983; Rothbart, 1986; Feigenbaum, 1991).

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - P(T \leq t) = 1 - \int_0^t f(t) \cdot dt \dots\dots\dots(4)$$

$f(t)$ = Ekipman arıza sürelerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu  
 $T$ = Ekipmanın arızasına kadar geçen süre

Eğer bir sistem Şekil 2.3' de görüleceği gibi, n adet bağımsız alt sistemden oluşmuş ve seri bağlanmış ise tüm sistemin güvenilirliği (5) nolu eşitlikteki gibi tespit edilebilir (Meyer, 1978; Rothbart, 1986; Feigenbaum, 1991; Rao, 1992). Böyle çalışan sistemlerde, tüm sistemin güvenilirliği, alt sistemlerin güvenilirliğinden daha küçüktür.



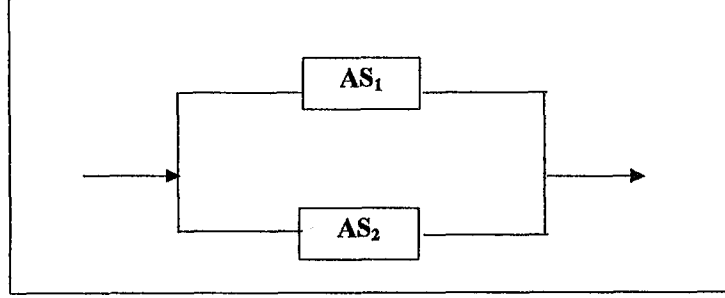
Şekil 2.3. Seri Bağlı Sistem

$$R(t) = P(T_1 > t) \times P(T_2 > t) \dots\dots \times P(T_n > t) = R_1(t) \times R_2(t) \times \dots \times R_n(t) \dots\dots\dots(5)$$

$R(t)$ = Tüm sistemin güvenilirliği

$R_n(t)$ = n. altsistemin güvenilirliği

Öte yandan, eğer bir sistem Şekil 2.4' te takip edilebileceği üzere paralel bağlı ise, sistem güvenilirliği Eşitlik (6)' da verildiği gibi olacaktır (Meyer, 1978; Rothbart, 1986; Feigenbaum, 1991; Rao, 1992). Bu şekilde çalışan bir sistemin faaliyetinin durması için tüm altsistemlerin çalışmaması gerekmektedir. Seri bağlı sistemin aksine paralel bağlı sistemde, tüm sistemin güvenilirliği altsistemlerinin güvenilirliğinden daha fazla olmaktadır .



Şekil 2.4. Paralel Bağlı Sistem

$$R(t) = 1 - (1 - R_1(t)) \times (1 - R_2(t)) \times \dots \times (1 - R_n(t)) \dots (6)$$

$R(t)$  = Tüm sistemin güvenilirliği

$R_n(t)$  = n. altsistemin güvenilirliği

Bir ekipmanın güvenilirliği arıza oranına bağlıdır. Arıza oranı ( $h(t)$ ), bir ekipman  $t_1$  zamanında çalışırken  $t_1$  ve  $t_1+dt$  zamanları arasında bozulma olasılığı olarak ifade edilir (Meyer, 1978; Dieter, 1983). Bu ifadeye özgü ilişki aşağıdaki eşitlikte verilmektedir (Meyer, 1978; Dieter, 1983; Rao, 1992; Cebesoy, 1996).

$$h(t) = f(t) / (1 - F(t)) = f(t) / R(t) = P(t_1 \leq t \leq t_1 + dt / t \geq t_1) \dots (7)$$

$$F(t) < 1$$

Buradan bir ekipmanın güvenilirliği ile arıza oranı arasındaki ilişkiye, aşağıdaki bağıntılar yardımıyla ulaşılabilir (Dieter, 1983).

$$f(t) = dF(t) / dt = d(1 - R(t)) / dt = -dR(t) / dt$$

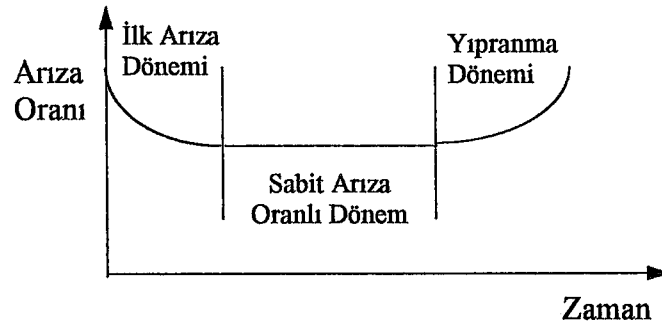
$$h(t) = f(t) / R(t) = -dR(t) / dt \times 1 / R(t)$$

$$-dR(t) / R(t) = h(t) \cdot dt$$

$$\ln R(t) = -\int_0^t h(t) \cdot dt$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(t) \cdot dt} \dots\dots\dots(8)$$

Bir ekipmanın arızaya yönelik genel ilişkisi Şekil 2.5' de gösterilmektedir (Dieter, 1983; Kocaalan,1983; Rothbart,1986; Feigenbaum,1991; Rao,1992; Parr, 1995). Bu ilişkiye göre ekipmanın başlangıçta belli bir süre tasarım hatalarından , üretim veya montaj kusurlarından dolayı yüksek bir arıza oranı olmaktadır. Bu dönem genellikle ekipman üreticisinin garanti kapsamındadır. Arıza oranı sabit bir orana varıncaya kadar bu bozulmalar gittikçe daha az sıklıkta olur. Yani, sistem gelişir. Sabit arıza oranlı dönemde, arızaların belli bir oranın üzerine çıkmaması, uygun bir bakım yapılması ve diğer çalışma koşullarının belirli sınırlar içinde tutulmasına bağlı kalmaktadır. Burada kullanılan "sabit" kelimesi istatistik anlamda olup, ortalamayı göstermektedir. Bunu müteakiben belirli bir süre sonra malzemeler ve parçalar hızla eskimeye, aşınmaya ve yorulmaya başlar ve buna bağlı olarak arıza oranı artar. Bu dönemde makinanın hurdaya ayrılarak yenisi ile değiştirilmesi ya da pahalı onarımlarla kullanılması sözkonusudur.



Şekil 2.5. İşletme Süresi Boyunca Arıza Oranının Genel Durumu

### 2.2.2. Bakım Kolaylığı

Bir ekipman arızalandığında, onu mümkün olduğunca çabuk çalışır duruma getirmek önemlidir. Bakım kolaylığı, bozulan bir ekipmanın belirli bir zaman aralığında tekrar çalışabilir hale getirilme olasılığıdır. Başka bir deyişle, bakım faaliyetlerinin performansına gösterilen ihtimamın bir ölçüsüdür. Genellikle tamir için ortalama sürenin ( TİOS ) bir fonksiyonu olarak tarif edilir (Dieter,1983; Kumar,1994).

$$\text{Bakım Kolaylığı} = f(\text{TİOS}) \dots \dots \dots (9)$$

Bir sistemde iyi güvenilirlik özelliği olsa bile, tasarım ve kurma safhaları süresince bakım kolaylığına yetersiz itina gösterilmesinden ötürü performans zayıf olabilir.

Genel olarak tamir için harcanan süre aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır.

- ◊ *Arızanın ne olduğunu ve gerekli tamir faaliyetini belirlemek için gerekli süre,*
- ◊ *Tamir faaliyetini tamamlamak için gerekli süre,*
- ◊ *Tamirin başarılı olduğunu ve sistemin kullanılmaya hazır olduğunu tespit etmek için gerekli kontrol süresi*

Yukardaki unsurlardan oluşan bu süreyi en aza indirmek, kısmen tasarımcı ve kismende kullanıcıdan kaynaklanan aşağıdaki faktörlerin teminini gerektirmektedir (Parr, 1995):

- ◊ *Arızaların kolay anlaşılır olması*
- ◊ *Zarar gören parçalara kolayca ulaşılabilmesi*
- ◊ *Montaj, demontaj ve nakliye kolaylığı*
- ◊ *Bakım personelinin yetenekli, iyi eğitilmiş ve uygun alet ve test ekipmanlarına sahip olması*
- ◊ *Gerekli yedek parçaların elde edilebilmesi ve ulaşılır konumda olması*

### 3. BAKIM

#### 3.1. Bakımın Tanımı ve Önemi

Bakım; beklenmeyen arızaları ve olası duruşları, mümkün olduğu kadar önlemek veya kontrol altına alabilmek amacıyla yapılan işlem ve faaliyetlerin tümü olarak tanımlanabilir. Bu haliyle, Şekil 1.1' den de takip edilebileceği üzere bakım, minimum maliyete ulaşmanın en önemli araçlarından bir tanesidir. Nitekim, bakım yoluyla bir yandan güvenilirlik ve bakım kolaylığı dolayısıyla hazır bulunma artarken, diğer yandan hazır bulunmaya bağlı olarak verimlilikte artmaktadır. Bu itibarla, bakımın nihai etkisi ekipmanların istenen üretim miktarını zamanında ve en az maliyetle yapmasını sağlamakta kendini göstermektedir.

Yakın bir geçmişe kadar, bakım faaliyetleri bir madencilik faaliyetinin işleyişi esnasında ikinci derecede önem verilen bir zorunluluk olarak görülmekte idi. Ancak özellikle 80' li yıllarda hız kazanan daha büyük kapasiteli, hassas ve karmaşık ekipmanların madencilik faaliyetlerine sokulması ve bunların bakım maliyetlerinin toplam üretim maliyetinin %30' una varan rakamlara ulaşmasıyla beraber, bu ekipmanların verimli ve güvenilir bir tarzda çalıştırılması gerekliliği önem kazanmıştır (Tomlinsong, 1994; Jones, 1995).

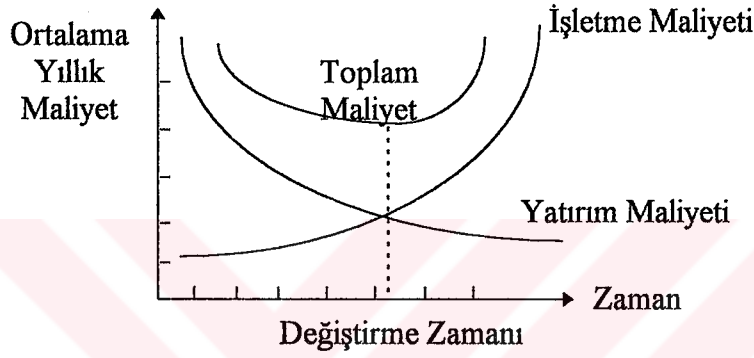
Günümüz maden işletmeciliğinde artık, işletmeye yeni ekipmanlar almak yerine, iyi bir bakım uygulamasıyla mevcut ekipmanların ekonomik ömürlerini ve verimliliklerini artırmak ön plana çıkmıştır (Cebesoy, 1996). Bu yüzden bakım stratejilerini, tekniklerini ve gelişimlerini iyi anlayıp, faaliyet amacı için en uygun olan bakımı uygulamak büyük önem taşımaktadır.

#### 3.2. Bakımın İşletme Faaliyetleri Üzerindeki Etkileri

##### 3.2.1. Ekipman Değiştirme Süresi Üzerine Etkileri

Ekipmanlar uzun süreli kullanıldığında Şekil 3.1 'de görüldüğü gibi ters istikametli iki eğilim ortaya çıkacaktır (Barish ve Kaplan, 1978). Bunlar; ortalama-

yatırım maliyetinin azalması ve işletme maliyetinin artmasıdır. Bu iki maliyet eğrisinin bileşkesinden ortaya çıkan toplam maliyet eğrisinin en düşük olduğu nokta ekipmanın ekonomik ömrü olup, bu noktada ekipmanın değiştirilmesi gerekmektedir. Ekonomik ömür, gelirler dikkate alındığında ekipmanın optimum geliri sağladığı, maliyetler açısından dikkate alındığında toplam ekipman maliyetinin, en düşük olduğu zamandır (Cebesoy, 1994).



Şekil 3.1. Ekonomik Ömürün Belirlenmesi (Cebesoy, 1994)

Değiştirme zamanı üzerinde en büyük etkiye sahip ekipman maliyet kalemlerinden biri bakım maliyetidir. Bakım maliyeti genellikle ekipman işletme maliyetinin yarısından fazlasını tutmaktadır (Jones, 1995). Bu maliyet kaleminin aşağı çekilmesi, toplam işletme maliyetinin düşmesine ve böylece ekipman değiştirme süresinin uzamasına sebep olacaktır. Bu ise, önemli bir yatırım miktarının diğer faaliyet amaçları için kullanılmasına imkan tanıyacaktır.

### 3.2.2. Üretim Üzerindeki Etkileri

Bir madenin üretimi doğrudan maden ekipmanlarının verimliliği ile ilişkilidir. Özellikle son yıllarda daha büyük kapasiteli ekipmanlara doğru yaşanan bir eğilimden dolayı, ekipman verimliliğindeki düşüşlerin üretim üzerindeki olumsuz etkileri artmıştır. Ekipman verimliliğinin düşmesi genellikle üretim seviyesini tutturmak için gereğinden fazla ekipman kullanılmasına neden olmaktadır. Bu

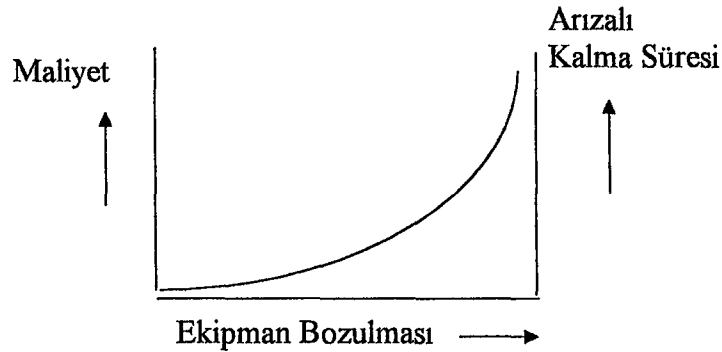


durum ise madencilik faaliyetlerinde kullanılan ekipmanların genellikle yüksek maliyetli olmasından dolayı ekonomik olmamaktadır.

Bakım faaliyetleri, ekipmanların verimli bir şekilde çalıştırılmasını sağlayan vazgeçilmez bir araçtır. Özellikle önleyici bakım uygulamalarıyla, ekipmanların acil tamir ihtiyaçları ve duruş süreleri azalmaktadır. Böylece, ekipmanın üretimde geçirdiği zaman artmakta ve üretim planlara göre yürütülebilmektedir.

### 3.2.3. Maliyet ve Beklenen Kar Üzerindeki Etkileri

Bir maden işletmesinde en büyük maliyetleri, üretimde kullanılan ekipmanların yatırım ve işletme maliyetleri oluşturur. Bu yüzden, işletmenin toplam maliyetlerini minimuma indirmek ve karı maksimuma çıkarmak için ekipman maliyetlerinin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Şekil 3.2' de görüldüğü gibi ekipman bozulmalarının artması, arızalı kalma sürelerinin ve tamir maliyetlerinin, dolayısıyla ekipman maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır (Tomlinsong, 1994). O halde, ekipman maliyetlerini azaltmak için esas olan, ekipman arızalarının azaltılması, yani ekipmanın güvenilirliğinin artırılmasıdır. Madencilik faaliyetlerinde, ekipman güvenilirliğinin arzu edilen seviyede tutulması, ancak iyi bir bakım programının tatbiki ile mümkündür.



Şekil 3.2. Ekipman Bozulmalarına Bağlı Olarak Maliyet Durumu

Yaptığımız değerlendirme ve yaklaşımlarımıza göre; ekipman maliyetleri, ekipmanın çalışmasından ve çalışmamasından kaynaklanan maliyetler olmak üzere iki grup altında sınıflandırılabilir. Bir ekipmanın güvenilirliği arttığında, çalışmamasından kaynaklanan maliyetler bu duruma ters olarak azalacaktır. Diğer yandan, beklenen değer kapsamında karxolasılık kavramı anlaşılmaktadır. Bu kavramla Bölüm 2.2.1' de verilen (4) nolu eşitlik ilişkilendirildiğinde ve ekipmanın çalışmaması durumundaki maliyetlerde dikkate alındığında aşağıdaki sonuç elde edilir.

**Beklenen Kar**= (Ekipmanın Çalışmasından Doğan Gelir-Ekipmanın Çalışmasından Doğan Maliyet)xGüvenilirlik Olasılığı - Ekipmanın Çalışmamasından Doğan MaliyetxBozulma Olasılığı

Bu husus aşağıda verildiği şekilde matematiksel olarak ifade edilebilir.

$$BeklenenKar = (G - M_{\varphi}) \times R(t) - M_a \times (1 - R(t))$$

$M_{\varphi}$ = Ekipmanın çalışmasından doğan maliyet(saat x \$/saat = \$)

$M_a$ = Ekipmanın çalışmamasından doğan maliyet(saat x \$/saat = \$)

$G$ =Ekipmanın çalışmasından elde edilen gelir (saat x üretim/saat x \$/üretim=\$)

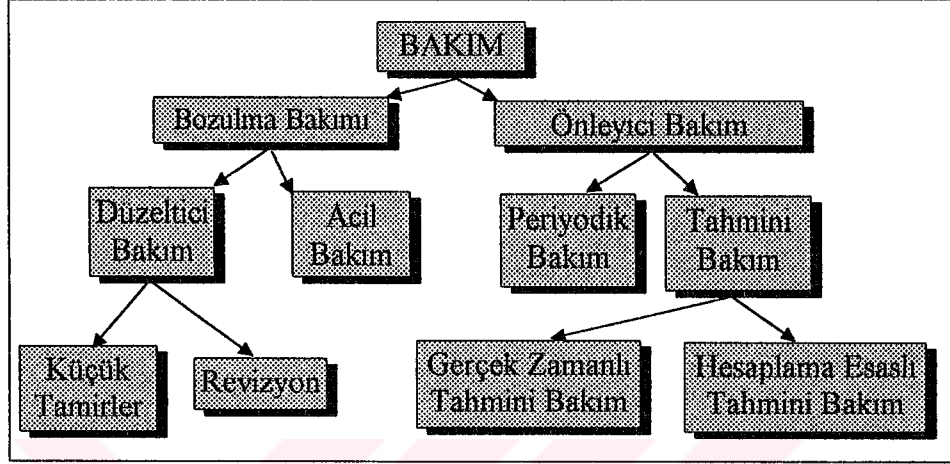
$R(t)$ = Güvenilirlik olasılığı

Tarafımızdan ileri sürülen bu kavrama göre amaç, beklenen karı maksimize etmektir. Bu amaca ulaşmak için güvenilirliğin maksimum düzeyde olması kaçınılmaz bir gerçektir.

### 3.3. Bakım Türleri

Günümüze kadar çok sayıda araştırmacı, bakımla ilgili değişik sınıflandırmalar yapmışlardır. Bu sınıflandırmaların genelinde ortak bir terminoloji kullanılmamasına rağmen, bakımın genel olarak iki grup altında incelendiği gözlenmektedir. Bunlar, Bozulma Bakımı ve Önleyici Bakım' dır. Literatürde

karşılaşılan bu farklı yaklaşımlar dikkate alınarak Şekil 3.3' te verildiği üzere genel bir sınıflandırma yapılmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.3. Bakım Sınıflandırması

Bozulma Bakımı ya da Tamir Bakım, arıza oluşuktan sonra ani düzeltici faaliyetlerle ekipmanı arzu edilen duruma getirme işlemidir (Topuz ve Baral, 1982; Tomlison, 1994). Oluşan arızanın ciddiyetine göre Düzeltilici Bakım veya Acil Bakım olarak iki grup altında incelenebilmektedir. Bu bakım türünde, genellikle arızaların sebeplerinin bulmak için çaba harcanmaz. Düzenli bir kayıt, bütçe ve yedek parça stoğu mevcut değildir.

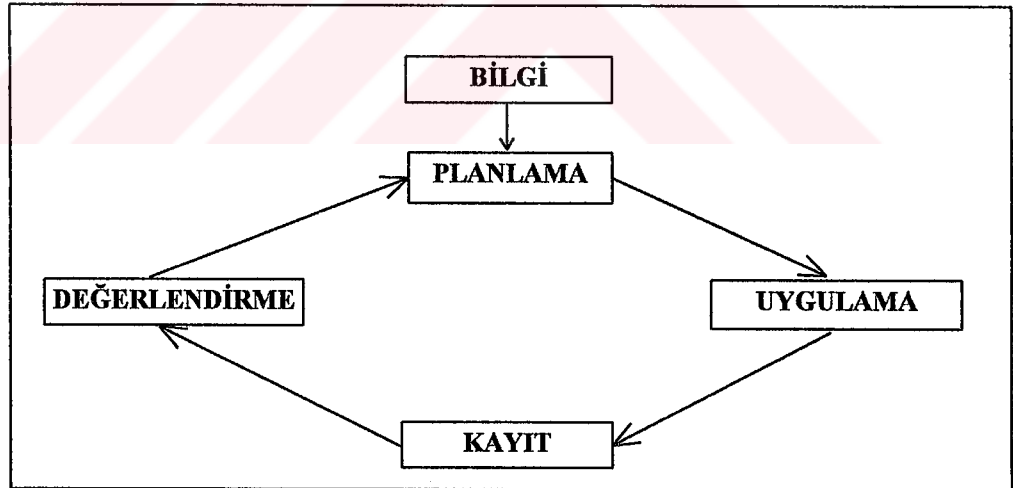
Literatürde Koruyucu Bakım ve Planlı Bakım olarak geçen Önleyici Bakım ise; kontrol, test etme ve izleme gibi işlemlerle ekipman arızalarını önlerken; yağlama, temizleme ve küçük parçaları değiştirme gibi servis hizmetleri ile de ömrünü uzatmada anahtar rol oynayan bir faaliyetler bütünüdür (Tomlison, 1994). Şekil 3.3.' te görüleceği üzere önleyici bakım, periyodik bakım ve tahmini bakım olmak üzere iki şekilde yürütülmektedir.

Periyodik Bakım, düzenli aralıklarda yapılan ve benzer işlemlerden oluşan bir önleyici bakım türüdür. Genellikle yağlama, temizleme, kalibrasyon vb. gibi servis hizmetlerinden oluşmaktadır. Böyle bir bakım sisteminin kurulması ve takip edilmesi kolaydır.

Tahmini Bakım ise, ekipmanın arıza seviyesini gösterebilecek kritik parametrelerin izlenip normal durumla kıyaslanmasına imkan tanıyan Gerçek Zamanlı Tahmini Bakım ve güvenilirlik analizi teknikleri yardımıyla arıza verilerini kullanarak bir sonraki arıza zamanının tespit edilmesini sağlayan Hesaplama Esaslı Tahmini Bakım olarak iki gruba ayrılmaktadır. Hesaplama esaslı bakım yaygın olarak Güvenilirlik Esaslı Bakım olarak adlandırılmaktadır. Her iki tahmini bakım türünde de amaç, planlama için yeterli süre varken olası arızaların tespit edilmesidir.

### 3.4. Bakımın Temel İlkeleri

Bakım faaliyetinin istenen düzeyde yerine getirilebilmesi için Şekil 3.4' de gösterilen ilkeler çerçevesinde yürütülmesi zorunludur (Kocaalan, 1983). Şekilde verilen ilkeler kapsamında aşağıdaki hususlar anlaşılmaktadır.



Şekil 3.4. Bakım Evreleri (Kocaalan, 1983)

- ◇ *Bilgi*; ekipman ve bakım teknolojileri alanlarında yaşanan son gelişmeler, tesisin şu andaki ve gelecekte planladığı üretim miktarı, kapasite kullanım oranı, ekipman- yedek parça durumu ve bakım biriminin mevcut teknik bilgi ve tecrübesi gibi bilgilerden oluşan bir veri tabanıdır.

- ◇ *Plan*; bakım biriminin faaliyet alanına giren ve yapılması gereken işlerin tespiti, takip edilecek bakım politikası, işi tamamlamak için gerekli işçi sayısı, süre, alet-teçhizat, yedek parça ve atölye koşulları gibi her türlü faktörü kapsayan ve belirleyen tasarımlardır.
- ◇ *Uygulama*; planların sıkı denetimi altında, yapılması gereken işlerin zamanında ve eksiksiz bir biçimde tamamlanması ve yapılan işin başarılı olup olmadığının tespiti faaliyetlerini kapsar.
- ◇ *Kayıt*; tamir- bakım faaliyetlerinde geçirilen süre, işçi sayısı, arıza-bakım türü ve bu süredeki kayıp üretim miktarı gibi uygulama sonuçlarının kaydedilmesi işlemidir.
- ◇ *Değerlendirme*; kaydedilen bilgilerin dikkatlice incelenmesi ile bakımın hedeflerine ulaşip ulaşmadığının kontrolüdür. Madencilikte araçlar özellikle hazır bulunma, bakım kolaylığı ve güvenilirlik gibi hususlar bazında değerlendirmeye tabi tutulur.

Burada önemli olan bu sistemdeki parçaların hiçbir zaman birbirinden kopmamasıdır. Aksi durumda işler düzeninden çıkar, denetim gevşer ve bakımın hedeflerine ulaşamaz. Bu ise üretim faaliyetlerinin istenen üretim oranına ve karlılığa ulaşamaması anlamına gelir.

### **3.5. Bakım Politikaları**

Madencilik faaliyetlerinde, bakım türleri arasında birim bakım maliyetinin düşük olduğu ve ekipmandan maksimum faydanın sağlanacağı bakım politikası seçilmelidir. Aşağıda bu politikalar açıklanmaktadır.

#### **3.5.1. Bozulma Bakımı Politikası**

Eğer ekipmanlar en çok kullanım düzeyinde ve arıza durumunda tamir etmek şeklinde kullanılıyorsa "Bozulma Bakımı" sözkonusudur. Bu bakım politikası, ekipmanın faaliyet verimliliğinde büyük bir etkisi olmadığı ve servis

faaliyetlerine nazaran değiştirme işleminin daha az maliyetli olduğu durumlarda tercih edilmektedir.

Bozulma Bakımı' nı gerçekleştirmek için aşağıdaki girdilerin sağlanması gerekmektedir (Chadwick,1992):

- ◊ *Gerekli yedek parça stoğu*
- ◊ *Aletler ve ekipman*
- ◊ *Kalifiye işgücü*
- ◊ *Atölye*
- ◊ *Ekipman ve tamir için gerekli teknik bilgi*
- ◊ *Nakliye*
- ◊ *Kontrol / teşhis*
- ◊ *Fiili alışma*

Bozulma Bakımı ortaya çıkan arızanın ehemmiyetine ve yapılan tamir işleminin boyutuna bağlı olarak "Düzeltici Bakım" ve "Acil Bakım" olmak üzere iki grup altında incelenebilmektedir. Acil Bakım, ciddi sorunlara yol açacak arızalardan kaçınmak için yapılan ani tamir işleridir. Düzeltici Bakım ise, kabul edilebilir bir çalışma durumunu devam ettiremeyen bir ekipmanın onarılması işlemi olarak tanımlanmaktadır (Corder, 1976). Düzeltici Bakım esnasında küçük tamir işleri ve ekipmanın kabul edilebilir bir çalışma durumuna ulaşabilmesi için yapılan büyük çaptaki kontrol, onarım ve parça değişimlerini kapsayan revizyon işlemi yapılmaktadır (Corder, 1976).

### 3.5.2. Önleyici Bakım Politikası

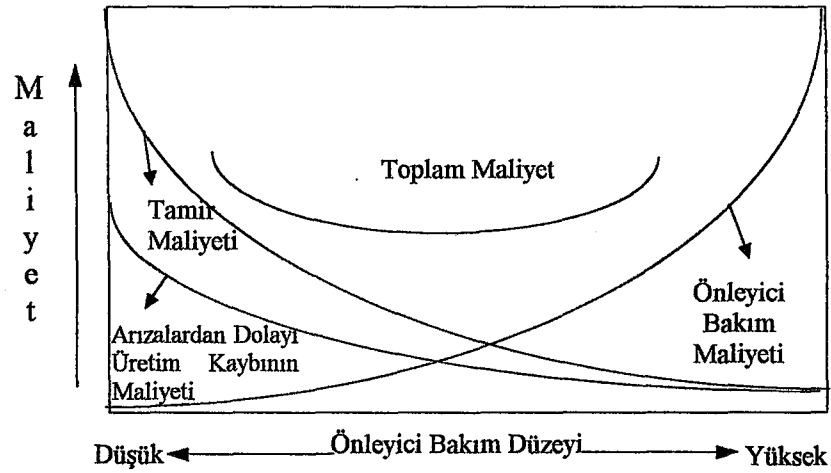
Madencilik faaliyetlerinin düzenli ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sürdürebilmesini sağlamak, ancak ekipmanların belirli aralıklarla kontrolü ve zamanla ortaya çıkan ihtiyaçlarının karşılanması ile mümkündür. Önleyici Bakımın

amacı, bu ihtiyaçların zamanında giderilerek ekipmanın çalışma durumunun muhafazasını sağlamaktır.

İşletmelerde, ekipman değiştirme maliyetinin ve arıza maliyetinin yüksek, ekipman değiştirme süresinin uzun ve servis maliyetlerinin tamir maliyetlerine kıyasla daha düşük olduğu durumlarda Önleyici Bakım politikası geçerlilik kazanmaktadır.

Önleyici Bakım süresince yapılan kontroller ve servisler neticesinde, mekanik aksaklıklar, henüz küçük problemler iken ve tamiri daha çok maliyetli ve zaman alıcı büyük problemlere dönüşmeden önce tespit edilir.

Maden işletmelerinde, önleyici bakım düzeyini belirlerken, bakım için ayrılan süre ile işletmenin karlılığı arasında ekonomik bir denge kurmak gerekmektedir. Aşırı ya da yetersiz bir önleyici bakım uygulaması madencilik faaliyetinin karlılığı üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Şekil 3.5.' den görüleceği üzere, önleyici bakım düzeyi düşük iken tamir maliyeti ve arızalardan kaynaklanan üretim kaybının maliyeti yüksektir (Kocaalan, 1983). Bu husus bakım düzeyi arttıkça önleyici bakım giderlerinin artması yönünde değişmektedir. Bu durumda, bu maliyet değerlerinin toplamına karşılık gelen toplam maliyet eğrisinin minimum olduğu nokta optimum önleyici bakım düzeyini vermektedir.



Şekil 3.5 Bakım Denge Eğrileri (Kocaalan, 1983)

Öte yandan, bir ekipmanla ilgili olarak, yüksek oranda arızalar yaşıyorsa servisler arası süre kısaltılmalı, hemen hemen hiç arıza olmuyorsa uzatılmalıdır. Açık işletmeler için genellikle toplam bakım işleminin %80-85 arasının Önleyici Bakım ile yürütülmesi ve geriye kalan sürenin acil ihtiyaçlardan kaynaklanan Bozulma Bakımına ayrılması önerilmektedir (Chadwick,1992; Golosinski, 1994). Bu oran bakım faaliyetinin randımanını ifade etmekte olup aşağıdaki yaklaşımla tespit edilmektedir.

$$\text{Bakım Randımanı(\%)} = \frac{\text{Önleyici Bakım İş Gücü Saati}}{\text{Toplam Bakım İş Gücü Saati}} \times 100$$

Başarılı bir Önleyici Bakım politikası işletme faaliyetlerine aşağıdaki faydaları sağlayabilmektedir (Tomlinsong, 1994):

- ◇ *Maksimum ekipman hazır bulunması*
- ◇ *Minimum bozulma*
- ◇ *Ekipman faydalı ömrüne ulaşma*
- ◇ *Ekipman güvenilirliğini artırma*
- ◇ *Acil tamir ihtiyaçlarını azaltma*
- ◇ *İşi planlamak için zamanı artırma*
- ◇ *Yedek ekipman ihtiyacını azaltma*

İki tür Önleyici Bakım politikası vardır. Bunlar, "*Periyodik Bakım*" ve "*Tahmini Bakım*" Politikalarıdır (Tomlinsong, 1994).

### 3.5.2.1. Periyodik Bakım Politikası

Periyodik Bakım, rutin ve tekrarlayıcı bakım faaliyetleridir (Tomlinsong,1994). Genellikle ekipman üretici firmalarının tavsiye ettiği servis aralıkları ve işlemlerden oluştuğu için katalog esastır. Sabit(1 hafta, 2 hafta) veya



değişken aralıklarda(500 çalışma saati, 1500 km) yürütülebilir. Periyodik Bakım , genellikle aşağıdaki faaliyetleri kapsamaktadır:

- ◇ *Teşhise yönelik kontrol,*
- ◇ *Yağlama,*
- ◇ *Temizleme,*
- ◇ *Ayarlama,*
- ◇ *Küçük parçaların değişimi (bant, filtre vb.),*
- ◇ *Test etme ve kalibrasyon.*

### **3.5.2.2. Tahmini Bakımı Politikası**

Bu politikanın temel amacı; olası ekipman arızalarını bakım faaliyetlerinin planlaması için yeterli süre varken tahmin etmektir(Taylor, 1973; Tomlینگson,1994). Tahmini Bakım, ekipman arıza seviyesini gösterebilecek kritik parametrelerin durumlarının izlenmesi ve bakım verilerinin güvenilirlik analizinin yapılması temeline dayanır. Bu haliyle iki grup altında incelenebilir. Bunlar Gerçek Zamanlı (real time) Tahmini Bakım ve Hesaplama Esaslı (non-real time) Tahmini Bakım' dır(Kumar, 1994) .

#### **3.5.2.2.1. Gerçek Zamanlı Tahmini Bakım Politikası**

Gerçek zamanlı tahmini bakım, ekipmanın herhangi bir parçasında oluşan bozulma durumuna ait sinyalleri periyodik veya sürekli bir şekilde alarak, karar vericiye, normal durumla kıyaslama ve içinde bulunulan koşulları değerlendirme imkanı tanıyan durum izleme sistemine dayalı bir bakım türüdür. Tahrip etmeden test etme temeline dayanır (Taylor,1973). Temel amacı; küçük problemleri, büyük arızalar oluşmadan ve düzeltici faaliyetin planlanması ve organizasyonu için gerekli süre varken tespit etmektir.

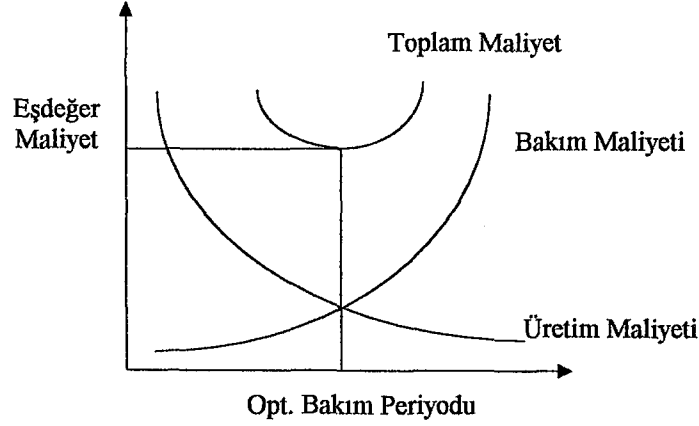
Tahmini Bakım uygulamalarında yukardaki amaçlara ulaşmak için bir dizi teknik kullanılır. Bunlar arasında titreşim analizi, yağ analizi ve ultrasonik test etme gibi teknikler yer almaktadır.

### 3.5.2.2.2. Hesaplama Esaslı Tahmini Bakım Politikası

Literatürde yaygın olarak "Güvenilirlik Esaslı Bakım" (Reliability Centered Maintenance) olarak geçen bu bakım türü, temel olarak arıza sebeplerinin tayini, dağılımının bulunması ve arızanın önceden tespit edilmesi çalışmalarını içermektedir.

Bir madencilik faaliyeti, herbiri özel faaliyetleri gerçekleştirmekte kullanılan farklı tip ekipmanlardan oluşmakta ve çoğunlukla seri bağlı bir sistem şeklinde çalışmaktadır (Topuz ve Baral, 1982). Böyle bir sistemin güvenilirliği bütün alt sistemlerinin fonksiyonlarını yerine getiriyor olmasına bağlı olduğundan, ekipmanların güvenilirliğinde meydana gelen küçük bir düşüş bile tüm madencilik sisteminin güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu açıdan, herbiri kendine ait farklı arıza tipi ve bakım periyodu gereksinimi gösteren bu ekipmanların arıza sonuçlarının uygun olarak değerlendirilmesinden sonra, kendi şartlarına uygun olan bakımını belirlemek önem taşımaktadır (Kumar, 1992).

Ekipman üreticileri, ürettikleri ekipmanların bakım faaliyetleri için uygun zaman aralıkları tavsiye etmektedirler. Bunlar ekipmanların bakım periyodları için iyi birer başlangıç noktası oluşturur. Ancak zamanla ekipman ihtiyaçları göz önüne alınarak bu periyodlar üzerinde yeni düzenlemelere gidilmesi gerekmektedir. Bakım periyodu Şekil 3.6' te görüleceği üzere maliyet açısından dikkate alındığında toplam maliyetin minimum olduğu, ekipman açısından dikkate alındığında minimum arızanın yaşandığı noktaya çekilir.



Şekil 3.6. Optimum Bakım Periyodunun Tespiti (Cebesoy, 1996)

Güvenilirlik esaslı bakım uygulamalarının temeli güvenilirlik analizine dayanmaktadır. Güvenilirlik analizi esnasında, bazı istatistiksel tekniklerden faydalanılır. Ancak veri sayısı, tipi ve toplanma süresi gibi birtakım istatistiksel kısıtlamalar bu analizin hassasiyetini etkilemektedir. Güvenilirlik analizi genellikle verilerin toplanması, analizi ve bir sonraki arıza zamanının tahmini işlemlerinden oluşur.

#### A. Bakım Verilerinin Toplanması ve Analizi

Güvenilirlik analizi çalışmalarında en önemli adımlardan biri, ekipmanların verimliliği üzerinde önemli etkiye sahip alt sistemleri belirlemek ve bu alt sistemlerin zamana bağlı olarak arıza davranışlarını incelemektir. Bu amaç için, bakım kartlarından arıza saati, arızalar arası süre ve arıza tipi gibi veriler kronolojik sıraya göre toplanmaktadır. Özellikle son yıllarda bilgisayar teknolojisinin bakım alanında kullanımıyla, bu veriler daha hızlı, tam ve eksiksiz bir şekilde elde edilebilmektedir.

Veri toplama işinden sonraki adım, arızalar arası sürenin bağımsız ve benzer bir şekilde dağılmış (independent and identically distributed) olup olmadığı araştırılmasıdır (Kumar ve Klefsjö, 1991; Kumar ve Vagenas, 1993; Kumar ve

Ark., 1994; Paraszcak ve Perreault, 1994). Bu durum eğilim ve seri korelasyonun var olup olmadığının tespiti ile gerçekleştirilir. Bunun için arızalar arası süre aşğıdaki genel prosedür takip edilerek test edilir(Jones, 1995):

- ◇ Verilerin benzer şekilde dağılmış olup olmadığını araştırmak üzere eğilim analizinin yapılması.
- ◇ Herhangi bir eğilim gözlenmez ise verilerin bağımsızlık için test edilmesi.
- ◇ Verilerin bazısı yada tümü bağımsızlık testini geçemezse, bağılı verilerin sınıflandırılması ve tekrar veri analizinin başlatılması.
- ◇ Eğer hiçbir bağımlılık gözlenmiyorsa, veri "bağımsız ve benzer şekilde dağılma" özelliğı gösterir ve standart sabit metodlar (Exponential, Weibull, Lognormal ) güvenilirlik analizinde kullanılır.

Ancak bir eğilimin varlığı gözlenirse, veriler sabit olmayan bir modelle analiz edilmelidir. Bağımsız ve benzer şekilde dağılma özelliğinin olması durumunda, ekipman ömrü ile güvenilirlik arasında bir ilişki olmadığı kabul edilir ( Jones, 1995).

**i) Eğilim Analizi:** Eğilim, veri değerleri arasındaki ilişkidir. Standart istatistiksel metodlar uygulanmadan önce, istatistiksel eğilimin var olup olmadığı test edilmelidir.

Eğilimin varlığı, değişik testlerle veya basit grafiksel tekniklerle araştırılabilir. Bu testler Laplace, MIL-HDBK-189, Rank ve Linear Regression'dur (Jones, 1995). Testlerin hepsi özel kabuller altında çıkarılır ve uygulamalarında doğruluk sınırları vardır.

Grafiksel teknikle eğilimin var olup olmadığını tespit etmek için kümülatif bozulmalar arası süre, kümülatif arıza süresine karşı çizilir. Düz bir doğru çıkması eğilimin olmadığını, artan veya azalan eğimde bir doğrunun çıkması ise bir eğilimin varlığını gösterir.

ii) **Seri Korelasyon Testi:** Bir ekipmanın (0,T) zaman periyodu içinde çalıştırıldığını ve bu periyod içinde n kez arızalandığını kabul edelim. Bu periyod içinde i=1' den n' e kadar olmak üzere arıza zamanları  $T_i$  ile ifade edilirse, arızalar arası süre ( $t_i$ ) Eşitlik(1)' deki gibi hesaplanabilir.

$$t_i = T_{i+1} - T_i \dots \dots \dots (1)$$

$$i=1,2,3 \dots \dots \dots n-1$$

Seri korelasyon testi, ( i-1 ). arızalar arası sürenin, i. arızalar arası süreye karşı çizilmesiyle yapılır (Kumar,1989; Kumar ve Klefsjö, 1991; Paraszczak ve Perreault, 1994). Noktaların rastgele bir dağılım göstermesi durumunda, düzenli bir model takip edilemez. Bu durumda verilerin seri korelasyondan bağımsız olduğu yorumu yapılır.

## B. Eğilimi Olmayan Verilerin Değerlendirilmesi ve Bir Sonraki Arıza Zamanının Tahmini

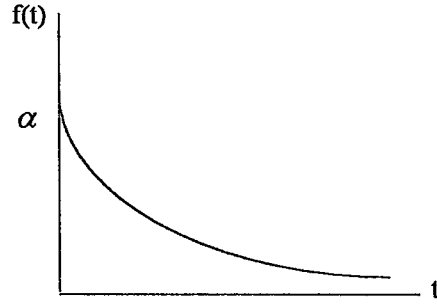
Verilerin bağımsız ve benzer şekilde dağılmış olduğunun tespitinden sonraki adım, bu verilerin teorik dağılımlara uygunluğunun araştırılmasıdır. En doğru güvenilirlik tahmini verecek, zamandan bağımsız üç ayrı modelden biri seçilir. Bu teorik dağılımlar Exponential, Lognormal ve Weibull dağılımlarıdır.

### A. Exponential Dağılım

$$f(t) = \alpha \exp(-\alpha t)$$

$$t \geq 0$$

f(t)= ekipman arıza zamanlarının olasılık yoğunluk fonksiyonu

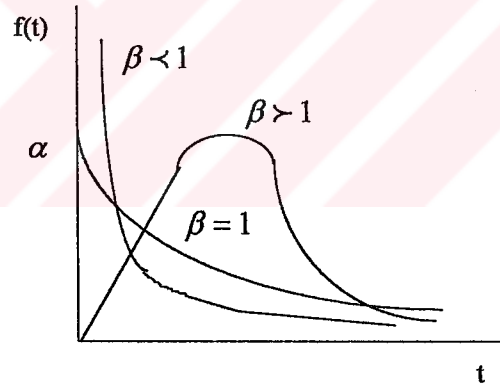


Şekil 3.7. Exponential Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Taha,1992)

*B. Weibull Dağılımı*

$$f(t) = \alpha \beta t^{\beta-1} \exp(-\alpha t^\beta)$$

$$t \geq 0, \alpha \geq 0, \beta \geq 0$$

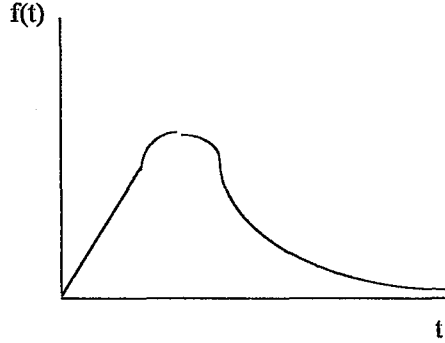


Şekil 3.8. Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Taha,1992)

*C. Lognormal Dağılım*

$$f(t) = (1 / t\sigma\sqrt{2\pi}) \exp(-(\ln t - \mu) / 2\sigma^2)$$

$$\mu \geq 0, \sigma \geq 0$$



Şekil 3.9. Lognormal Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Taha,1992)

Kolmogorov- Smirnov (K-S) testi, veri seti için en iyi uyan dağılım modelini bulmak üzere yapılır. Yalnızca sürekli rastgele değişkenlere uygulanabilen bu test, belirlenen bir önem seviyesinde farzedilen dağılımı kabul yada red eden bir istatistik kullanır (Taha,1992). Test sonucu bulunan dağılımın ortalaması, Arızalar Arası Ortalama Süreyi verir. Bu süre aynı zamanda ekipmanın bir sonraki arızalanması için geçecek süredir. Bu ifadeye özgü ilişki Eşitlik(2)' de verilmektedir.

$$t_{n+1} = t_n + \text{AAOS} \dots \dots \dots (2)$$

$t_n$  = Son arızanın gerçekleştiği süre

$t_{n+1}$  = Bir sonraki arıza zamanı

AAOS = Arızalar Arası Ortalama Süre

### C. Eğilimi Olan Verilerin Değerlendirilmesi ve Bir Sonraki Arıza Zamanının Tahmini

Veri setinde eğilimin olması, sistemin zamana bağlı olarak geliştiği yada yıprandığı anlamına gelir. Bu durumda arıza oranının Şekil 2.5' de verilen ilişkisi geçerlidir. Ekipmanlar ilk arıza döneminde gittikçe azalan bir arıza oranı ile gelişmektedir. Sabit arıza oranlı dönemde herhangi bir gelişme veya yıpranma

eğilimi olmamakta, son olarak yıpranma döneminde arıza oranı gittikçe artmakta ve ekipman yıpranmaktadır.

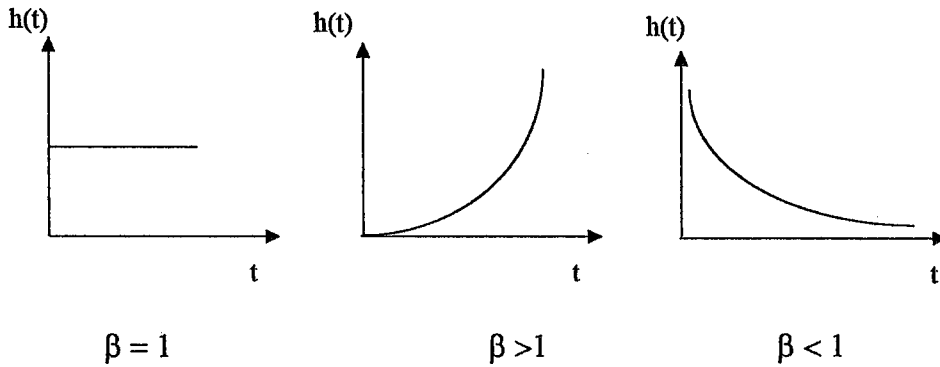
Arıza oranının zamana bağlı olarak bu değişimi Weibull Arıza Kuralıyla ifade edilmektedir. Bu kurala göre arıza oranı, aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Kumar, 1992; Rao, 1992; Jones, 1995).

$$h(t) = \alpha \beta t^{\beta-1} \dots \dots \dots (3)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  pozitif sabitleri sırayla ölçek ve şekil parametreleridir. Exponential Arıza Kuralı, Weibull kuralında  $\beta$ 'nin 1 olması durumundaki özel halidir.  $\beta$  değerine göre sistemin içinde bulunduğu durum aşağıda ifade edilmektedir.

- ◇  $\beta > 1$  Arızalar Arası Süre gittikçe küçülmekte, bu ise sistemin performansının kötüleştiğini göstermektedir.
- ◇  $\beta < 1$  Arızalar Arası Süre gittikçe artmakta, yani sistem performansı iyileşmektedir.
- ◇  $\beta = 1$  Hiçbir eğilim yoktur. Bu durumda arıza oluşum oranı sabittir.

Arıza oranı ( $h(t)$ ), Şekil 3.10' den görüleceği üzere,  $\beta$ 'nin değerine bağlı olarak zamanın artan, azalan veya sabit bir fonksiyonu şeklinde oluşur (Meyer, 1978).



Şekil 3.10. Arıza Oranının  $\beta$ 'ya Bağlı Olarak Değişimi (Meyer, 1978)



Eşitlik (3) 'deki  $\alpha$  ve  $\beta$  sabitleri aşağıdaki formüller yardımıyla bulunabilir (Kumar ve Klefsjö, 1991; Jones, 1995).

$$\beta = n / (n \ln(T) - \sum_{i=1}^n \ln(T_i)) \dots\dots\dots(4)$$

$$\alpha = n / T^\beta \dots\dots\dots(5)$$

$n$ = Arıza Sayısı

$T_i$ = Birbirini takip eden arıza Süreleri  $i=1,2,3,\dots\dots,n$

$T$ = Toplam Zaman Periyodu  $0 < T_1 < T_2 < \dots < T_n < T$

Daha küçük boyutlu veri grupları için tarafsız tahmin yapmak için  $(n-1)/n$  düzeltme faktörü  $\beta$  değeri için kullanılır (Jones, 1995).

$$\beta' = ((n-1) / n)\beta \dots\dots\dots(6)$$

Genelde  $\beta$  'nın tarafsız tahmininin daha doğru olduğu gözükmektedir. Arıza veri setinin boyutunun büyümesiyle beraber, iki değer arasındaki fark daha önemsiz hale gelmektedir.

(3) nolu eşitliğin arıza verisine uyup uymadığı verilen bir önem seviyesinde ispat edilebilir. Bu ispat için Cramer-Von-Mises istatistiği kullanılır(Eşitlik(7)). Eğer bu eşitlikteki  $C_n^2$  değeri, kullanıcı tarafından seçilen önem seviyesi için kritik değeri aşarsa hipotez red edilir (Kumar ve Klefsjö, 1991; Jones, 1995).

$$C_n^2 = (1 / 12n) + \sum_{i=1}^n ((T_i^{\beta'/6} / T) - (2i - 1) / 2n)^2 \dots\dots\dots(7)$$

$n$ = Arıza Sayısı

$i$ = 1'den  $n$ 'e kadar tamsayı

$T_i$ = Birbirini takip eden arıza süreleri

$T =$  Toplam zaman periyodu  $0 < T_1 < T_2 < \dots < T_n < T$

(3) eşitliğine bağlı olarak bir sonraki arıza süresinin tahmini aşağıdaki bağıntı aracılığı ile bulunabilir(Jones,1995). Bu bağıntı, son arıza zamanı ile bir sonraki olası arıza zamanı arasında 1 adet arıza gerçekleştiği hususuna dayanmaktadır.

$$E(N(t_{n+1}) - N(t_n)) = \int_{t_n}^{t_{n+1}} \alpha \beta t^{\beta-1} . dt = \alpha t_n^{\beta} 1_{t_n}^{t_{n+1}} = 1 \dots \dots \dots (8)$$

$t_n = n$ . Arızanın gerçekleştiği zaman

$t_{n+1} =$  Bir sonraki arızanın tahmini zamanı

Yukardaki eşitliğin çözümü sonucunda bir sonraki arıza zamanı aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir(Jones,1995). Bulunan bu zaman, bir sonraki arızanın kümülatif zamanıdır.

$$t_{n+1} = (t_n^{\beta} + 1 / \alpha)^{1/\beta} \dots \dots \dots (9)$$

### 3. 6. Bakım Politikalarının Değerlendirilmesi

Modeli ve tipi ne olursa olsun, tamamen güvenilir ekipman yoktur ve ekipmanlar er ya da geç arızalanırlar. Bu durumda ekipmanların çalıştırılması ile ilgili iki seçenek ortaya çıkmaktadır. Bunlar;

- ◆ Ekipmanların, en çok kullanım düzeyinde ve arıza durumunda tamir etmek şeklinde çalıştırılması veya,
- ◆ Arıza durumunda zaman kaybı yerine, bir program içerisinde gerekirse işleyişini zaman zaman durdurmak yoluyla çalıştırılmasıdır.

Bir işletmenin bakım politikası, bu seçeneklere bağlı olarak belirlenir. Ancak pratikte, ekipman ve çalışma koşullarına bağlı olarak bu seçime etki eden başka

önemli kriterlerde vardır. Aşağıda belirtilen bu kriterlerin detaylı analizinde gözönüne alınarak bir karar verilmelidir.

- ⇒ Ekipmanın yatırım maliyeti
- ⇒ Ekipmanın üretim sistemi içerisindeki yeri ve bağlı ekipmanlarla olan ilişkisi
- ⇒ Ekipmanın çalışma koşulları
- ⇒ Durum izleme sisteminin (condition monitoring) teknik ve ekonomik uygulanabilirliği
- ⇒ Bakım verilerini toplayan bir sistemin varlığı

Yukarıda sıralanan kriterlerin bakım politikalarının seçimi üzerinde başlı başına veya birlikte etkili olabilmektedir. Bunların etkileri kısaca aşağıda ana bakım politikaları altında verilmiştir.

- ◆ *Bozulma Bakımı Politikası:* Özellikle yüksek yatırım gerektiren ve arızalanması durumunda üretimi tamamen ya da kısmen durdurma noktasına getirebilen ekipmanlar için bu politikanın izlenmesi doğru bir seçim olmayabilir. Ancak, bazı ekipman ya da birimler için bozulma bakımını uygulamak gerekebilir. Örneğin küçük motorlar gibi birimleri değiştirmek, yapılacak kontrol, yağlama ve temizleme gibi servislere nazaran daha az maliyetli olabilir. Küçük motorlar nadiren faaliyetin büyük kısmını etkiler ve beklenmedik bir arızanın maliyeti büyük olmamaktadır. Bunları değiştirmek nispeten basit bir işlemdir ve fazla zaman almaz. Böylece, küçük motorlar için bozulma bakımının uygulanması en ekonomik yol olabilir (Taylor, 1973).
- ◆ *Önleyici Bakım Politikası:* Ekipman değiştirme maliyetinin, arızadan kaynaklanan duraklamaların ve tamir maliyetinin yüksek olduğu durumlarda bu politika geçerlidir. Bölüm 3.5.2' de daha önce belirtildiği

üzere önleyici bakım politikası periyodik bakım ve tahmini bakım politikaları olmak üzere iki grup altında toplanmaktadır. Bunlardan periyodik bakım politikasının oluşturulması ve takibi kolaydır. Ancak, farklı çalışma ortamlarında çalışan iki benzer ekipmanın değişik bakım ihtiyaçları ortaya çıkabilir. Ayrıca, üretim sistemi içindeki yerleri de bu ihtiyaçların farklılaşmasına neden olabilir. Bu durumda, periyodik bakım uygulamasından hedeflenen sonuçlara ulaşılamayabilir. Tahmini bakım politikasında ise, öncelikle ekipmana ait önemli altsistemlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu durumda bunların bakım aralıkları, hesaplama esaslı tahmini bakım politikası(güvenilirlik esaslı tahmini bakım)' nda olduğu gibi arıza verilerinin güvenilirlik analizi ile değerlendirilmesi ya da gerçek zamanlı tahmini bakımda olduğu gibi durum izleme sistemi yardımıyla tespit edilebilir. Hesaplama esaslı tahmini bakım için bakım verilerini toplayan bir sisteme ihtiyaç vardır. Öte yandan, gerçek zamanlı tahmini bakım ise, durum izleme sisteminin başlangıçtaki yüksek yatırım gereksiniminden ötürü uygulanabilirliği işletmenin ekonomik durumuna bağlıdır.

Gerçek zamanlı tahmini bakım, bakım teknolojisi alanındaki son adımdır ve mikroişlemci ve algılayıcı endüstrisindeki ilerlemelere bağlı olarak gelişme aşamasındadır. Bu bakım türü, daha iyi kaynak kullanımı ve daha büyük maliyet kontrolü sağlamasından dolayı, periyodik bakım ve güvenilirlik esaslı bakımın yerini almaktadır(Kumar, 1996). Böylece gelecekteki bakım politikası yaklaşımı, tahmini bakım olarak gözükmektedir.

## 4. BİLGİSAYAR TEKNOLOJİSİNİN BAKIM FAALİYETLERİNDE KULLANIMI

### 4.1. Bakım Bilgi Sistemi

Bir bakım programının amacı; ekipmanların üretim ihtiyaçlarını zamanında ve en az maliyetle karşılayacak şekilde çalıştırılmasını sağlamaktır. Programın başarısı, bakım yöneticilerinin vereceği kararların doğruluğuna ve hızına bağlıdır. Bundan dolayı bakımla ilgili bu kararlar; zamanında, yanlışsız ve tam bir şekilde elde edilmiş bakım verilerinden oluşturulan bir bilgi temeline dayanmalıdır. Bu bilgi temeli ise Bakım Bilgi Sistemi tarafından oluşturulur.

Bakım Bilgi Sistemi, bakım verilerini faydalı bilgiye çeviren bir araçtır ve bakım yöneticisine, aşağıdaki hususları belirlemede yardımcı olacak bilgiler sağlar:

- ⇒ Yapılacak işin belirlenmesi
- ⇒ İşin kontrol edilmesi
- ⇒ Yapılan işin verimliliğinin ölçülmesi

Böyle bir sisteme duyulan ihtiyaç, takip edilen bakım politikasına göre değişiklik arz etmektedir. Eğer sözkonusu bakım politikası "Bozulma Bakımı" ise belirli bir bakım planının oluşturulup tatbiki için bir bilgi sistemine ihtiyaç olmayacaktır. Çünkü ekipmanlar en çok kullanım düzeyinde ve arızalandığı zaman tamir etme şeklinde çalıştırıldığından, ortaya çıkan arızaların sebepleri ve sonuçları hakkında değerlendirme bilgilerine ihtiyaç doğmayacaktır. Öte yandan, "Önleyici Bakım" politikasının izlenmesi durumunda, yapılacak bakım işi, yöntemi, gerekli yedek parça, işçi sayısı ve gerekli süre gibi faktörleri kapsayan ayrıntılı planlara ihtiyaç olmaktadır. Bu durumda sözkonusu ekipmana ait bakım verilerinin toplanması ve amaçlar doğrultusunda değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bakım Bilgi Sistemi bu boyutuyla önleyici bakım politikasının başarılı bir şekilde yürütülmesi için vazgeçilmez bir unsurdur.

Bakım Bilgi Sisteminin oluşturulması için öncelikle bakım yönetiminin ihtiyaç duyduğu verilerin tespit edilmesi gereklidir. Belirlenen bu veriler sistematik olarak toplanmalı ve bireysel ekipman kayıtlarına eklenmelidir. Birçok maden işletmesinde kullanılan bakım kartları, bu verilerin toplanması ve kaydedilmesine örnek teşkil etmektedir. Yanlış ve yetersiz verilere dayalı kararların, bakım performansı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, verilerin doğru ve tam olmasına dikkat edilmelidir. Elde edilen bu veriler belirlenen amaçlara yönelik olarak analiz edilmeli ve son olarak kolayca yorumlanabilir formatlarda sunulmalıdır.

Ancak, özellikle çok sayıda ekipmana sahip büyük maden işletmelerinde verilerin çokluğu, bu verilerin derlenmesi, değerlendirilmesi ve takibini çok zor bir hale getirmektedir. Böyle bir durumda kısa zamanda gerekli bilgilere ulaşamaması, uygulamada çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Bundan dolayı, bakım verilerinin zamanında toplanması ve değerlendirilmesine imkan tanıyacak bilgisayar destekli bir bakım bilgi sisteminin kullanılması zorunluluk haline gelmiştir.

#### **4.2. Bilgisayar Destekli Bakım Bilgi Sistemi : BAKPRO**

Çağdaş üretim ve yönetim süreçlerinde bilgisayardan yararlanmak olağan hale gelmiştir. Bu durumun bakım yönetimi açısından önemi; işlemlerin hızlandırılması, bilgilerin derlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetim kararlarına ışık tutacak verilerin kısa sürede ve yeterli düzeyde elde edilmesinin sağlanmasında kendini göstermektedir.

Bilgisayar teknolojisi sayesinde, el ve hesap makinaları yardımıyla uzun sürede gerçekleştirilebilen veya pratikte mümkün olmayan, bilgilerin derlenmesi ve değerlendirilmesi işlemleri çok hızlı ve güvenilir yapılabilmektedir. Böylece,

kısa sürede, kapsamlı analiz ve değerlendirme bilgilerine ulaşmak veya bu bilgileri rapor haline getirmek mümkün olmaktadır.

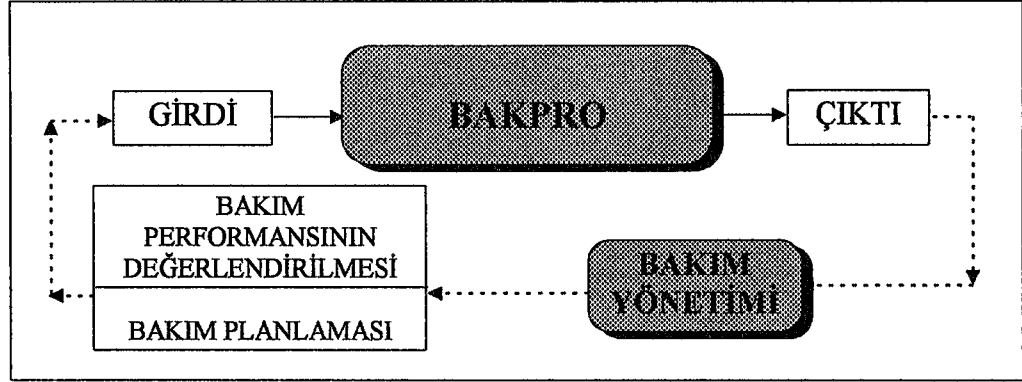
Bilgisayarın bakım bilgi sistemine getirdiği bu yeni boyut sonucunda, son yıllarda birçok madencilik firması bakım yönetiminde etkili bir araç olarak bilgisayarlardan faydalanmaya başlamıştır.

Bakım Bilgi Sisteminin bilgisayar ortamında işleyişini göstermek amacıyla, Borland C++ programlama dilinin sunum 3.1 derleyicisi kullanılarak bir bilgisayar programı yazılmıştır. "BAKPRO" olarak adlandırılan bu program aracılığı ile bakım yönetimine aşağıdaki hususlarda yardımcı olunması amaçlanmıştır:

- ◆ Ekipmanla ilgili bakım verilerinin düzenli olarak toplanması
- ◆ Çok fazla bakım gerektiren alt sistemlerin belirlenmesi
- ◆ Ekipman çalışma saatlerinin ve üretimlerinin takibi
- ◆ Bir sonraki olası arıza zamanının tespiti

Önleyici bakım esaslı olarak geliştirilen program, belirli bir ekipmana ait istatistiksel bir analize imkan sağlayacak bakım verisi toplanana kadar, periyodik bakım esaslı olarak çalışmaktadır. Bu durumda aracın çalışma saati baz alınarak önceden belirlenmiş olan bakım periyodları ve yapılacak servis işlemleri kullanıcıya hatırlatılmaktadır. Bakım verileri belirli bir sayıya ulaştıktan sonra artık program güvenilirlik esaslı bakım türüne göre işleyişini sürdürmektedir. Söz konusu ekipmana ait toplanan veriler, güvenilirlik analizi teknikleri yardımıyla herbir altsistem bazında değerlendirilmekte ve ekipman ihtiyaçları doğrultusunda bakım zamanı tespit edilerek kullanıcıya sunulmaktadır.

Genel çalışma sistemi Şekil 4.1' de verilen programda, ekipman, bakım ve vardiya verilerinden oluşan bir veri tabanı kullanılmaktadır. Program altı adet fonksiyondan oluşmakta ve bu fonksiyonlar veri tabanındaki bilgileri ortaklaşa kullanarak, bakım performansının değerlendirilmesi ve bakım planlaması için gerekli altyapıyı sağlamaktadır.



Şekil 4.1. Programın Genel Çalışma Sistemi

Akış şeması Şekil 4.2' de verilen programı oluşturan fonksiyonların işleyiş şekli ve nasıl çalıştırılması gerektiği aşağıda sıra ile açıklanmaktadır.

**Fonksiyon1 (Yeni Ekipman Girişi):** Bu fonksiyon ile ekipmana ait tanıtıcı bilgiler veri tabanına aşağıdaki sıra ile girilmektedir.

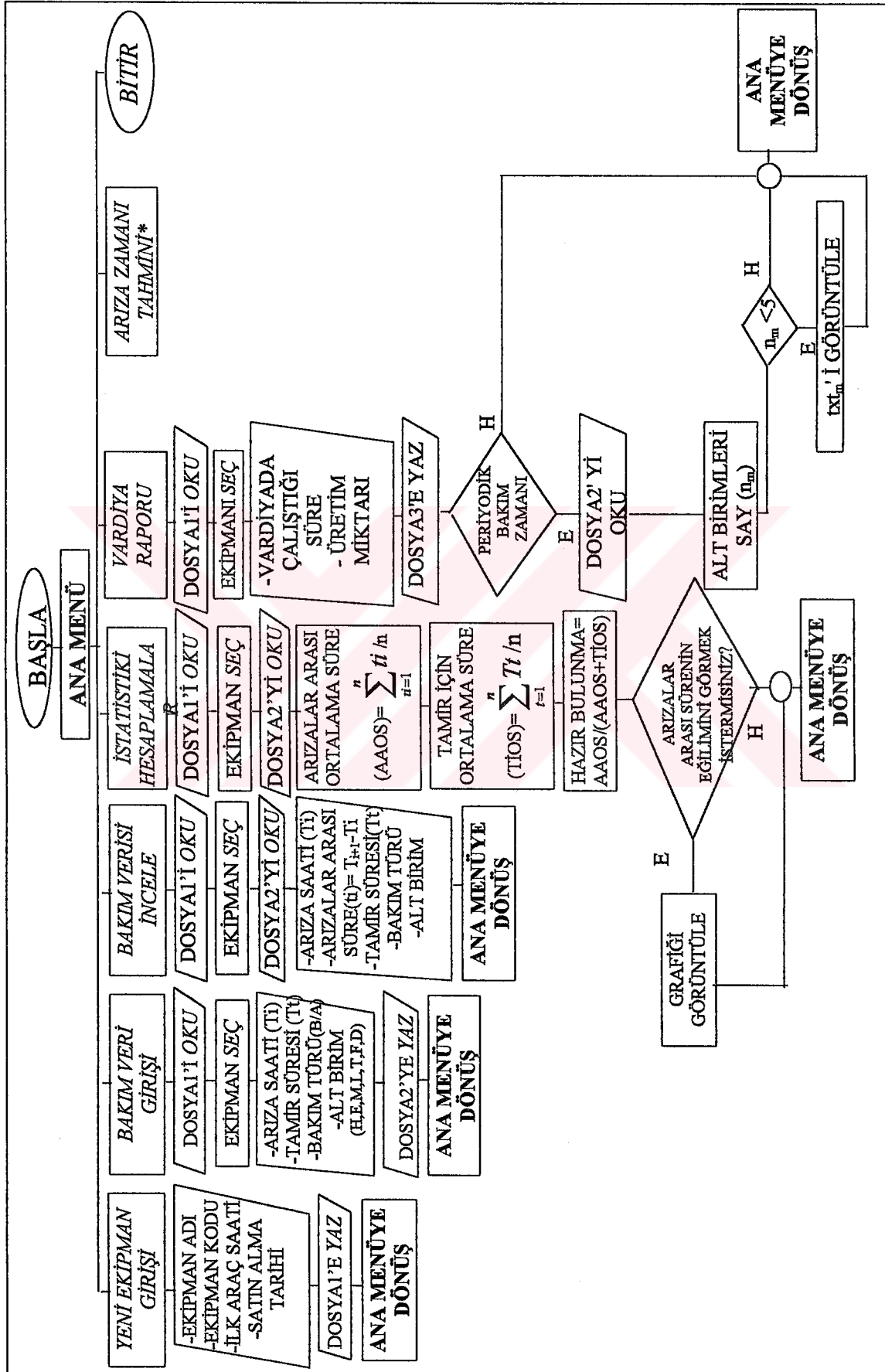
- ◆ *Ekipman Adı*
- ◆ *Ekipman Kodu*
- ◆ *İlk Araç Saati*
- ◆ *Satın Alma Tarihi*

Programın bu aşamasında ekipman sayısı ile ilgili herhangi bir kısıtlama yoktur.

**Fonksiyon2 (Bakım Veri Girişi):** Herhangi bir ekipmana ait bakım faaliyetlerinin kaydına imkan sağlayan bir fonksiyondur. Bu kayıt işlemi sırasında aşağıdaki bakım verileri girilmektedir.

- ◆ *Araç Saati: Ekipmanın bakıma alındığı anki toplam çalışma süresidir.*





Şekil 4.2. Programın Akım Şeması

H= Hidrolik, E=Elektrik, M=Motor, L=Lastik, T=Transmisyon, F=Fren, D=Diğer  
\* Şekil 4.3' de ayrıntılı olarak verilmiştir.

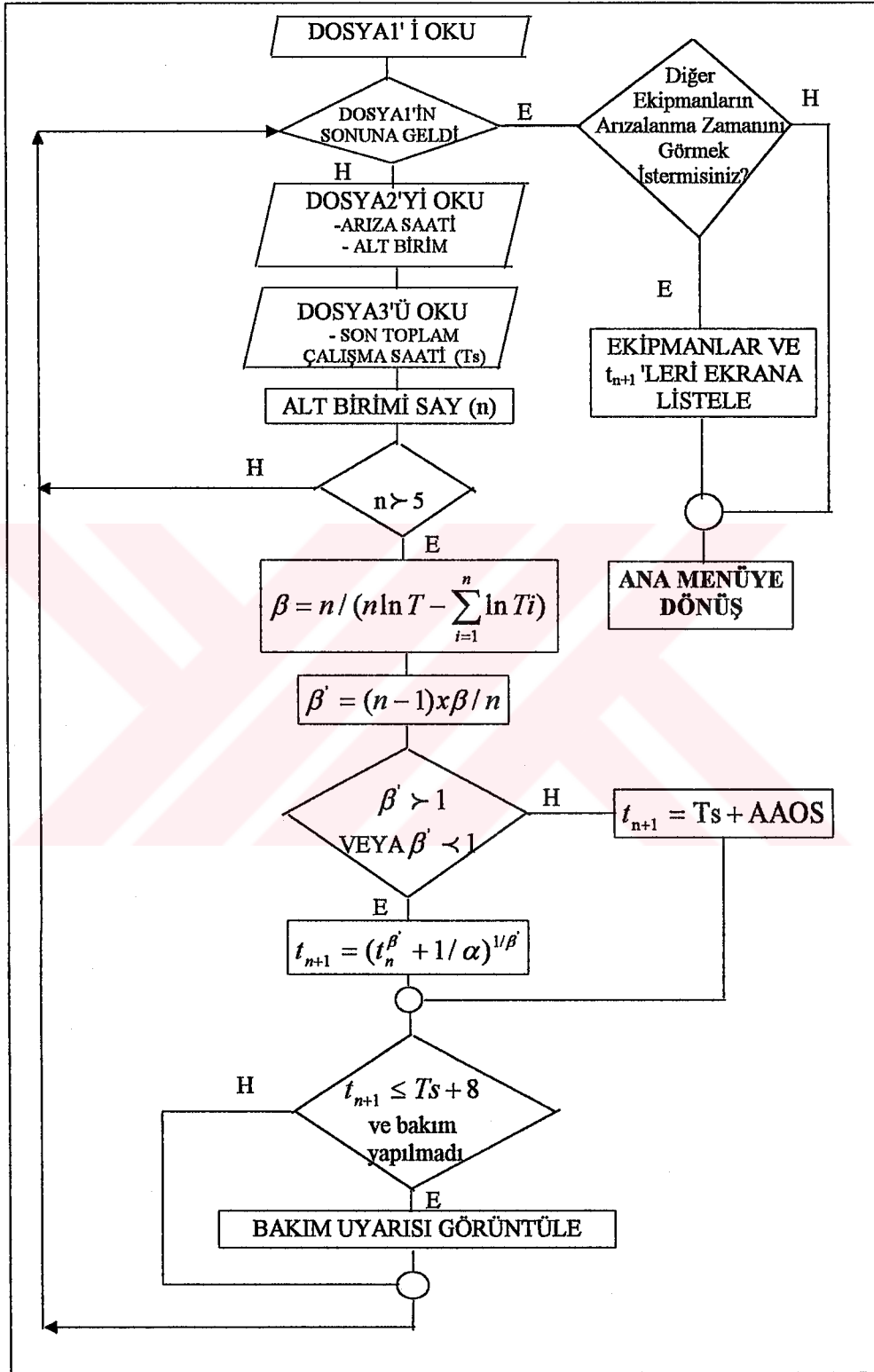
- ◆ *Bakım Süresi: Bakım işleminin gerçekleştiği zaman diliminin uzunluğudur.*
- ◆ *Bakım Türü : Tamir yada servis işlemlerinin hangisinin yapıldığı belirtilir.*
- ◆ *Bakımı Yapılan Alt Birim : Ekipmanın hangi alt sistemine bakım yapıldığı girilir.*

**Fonksiyon3** (Bakım Verisi İnceleme): Bu fonksiyonda, ilgili ekipmanın geçmişine ait bakım verileri ( Bakımın Yapıldığı Araç Saati, Arızalar Arası Süre, Bakım Süresi, Bakım Türü ve Bakımı Yapılan Altbirim) ekrana gelerek, kullanıcının incelemesine sunulur.

**Fonksiyon4** (İstatistiki Hesaplamalar): Bu seçenek, bakım performansının değerlendirilmesine ve aşırı bakım gerektiren alt sistemlerin tespit edilebilmesine imkan tanır. Burada Arızalar Arası Ortalama Süre, Tamir İçin Ortalama Süre ve Hazır Bulunma değerleri hesaplanarak kullanıcıya sunulur. Ayrıca ilgili ekipman için arızalar arası sürenin eğilimini gösteren bir grafik sunulmaktadır.

**Fonksiyon5** (Vardiya Raporu): Bu fonksiyon iki amaçlıdır. Hem vardiya sonunda ekipmanın üretim miktarı ve çalışma süresinin veri tabanına ilave edilmesine imkan tanırken, hem de periyodik bakım zamanının gelip gelmediğini kontrol ederek kullanıcıya gerekli uyarıyı sağlar.

**Fonksiyon6** (Arıza Zamanı Tahmini): Akış Şeması Şekil 4.3' te ayrıntılı olarak verilen bu fonksiyonda, güvenilirlik analizi tekniklerinden faydalanılarak ekipmanların arızalanabileceği süreler ekipmanın herbir altbirimi için ayrı ayrı tahmin edilmektedir. Vardiya raporu fonksiyonunda girilen çalışma saati ile hesaplanan bu değer mukayese edilmekte ve hesaplanan değere 8 saat kala(1 vardiya) gerekli bakım uyarısı yapılmaya başlanmaktadır. Uyarı işlemi, gerekli



Şekil 4.3. Arıza Zamanı Tahmini Fonksiyonunun Akış Şeması

bakım işlemi yapılıp, bakım veri girişi kısmında rapor edilinceye kadar devam etmektedir.

#### **4.3. BAKPRO' nun Gerçek Verilerle Çalıştırılması**

Hazırlanan programın işleyişini göstermek amacıyla, Sivas İli Ulaş İlçesi' ne bağlı Barit Maden Türk A.Ş.' de kullanılmakta olan ekipmanların bakım verilerinden faydalanılmıştır. Bu amaç için, tarafımızca hazırlanan formlara 1995 Ağustos ayından bu yana işletme yetkilileri tarafından bakım verileri kaydedilmiştir. Ancak, işletmedeki çalışma süresinin kısıtlı olması (ortalama 180 gün/yıl) nedeniyle Liebherr marka R962HD model hidrolik ekskavatör dışında yeterli bakım verisi temin edilememiştir. Bu nedenle, BAKPRO programının denenmesi için sadece sözkonusu ekipmana ait Tablo 4.1' de verilen veriler kullanılmıştır.

R962HD üretici kataloglarının incelenmesi ve ekipmanın bakımından sorumlu usta ile yapılan görüşmeler sonucu ekipman altsistem olarak aşağıdaki yedi gruba ayrılmıştır:

- ⇒ Mekanik Sistem
- ⇒ Hidrolik Sistem
- ⇒ Elektrik Sistemi
- ⇒ Motor
- ⇒ Fren Sistemi
- ⇒ Soğutma Sistemi
- ⇒ Diğer

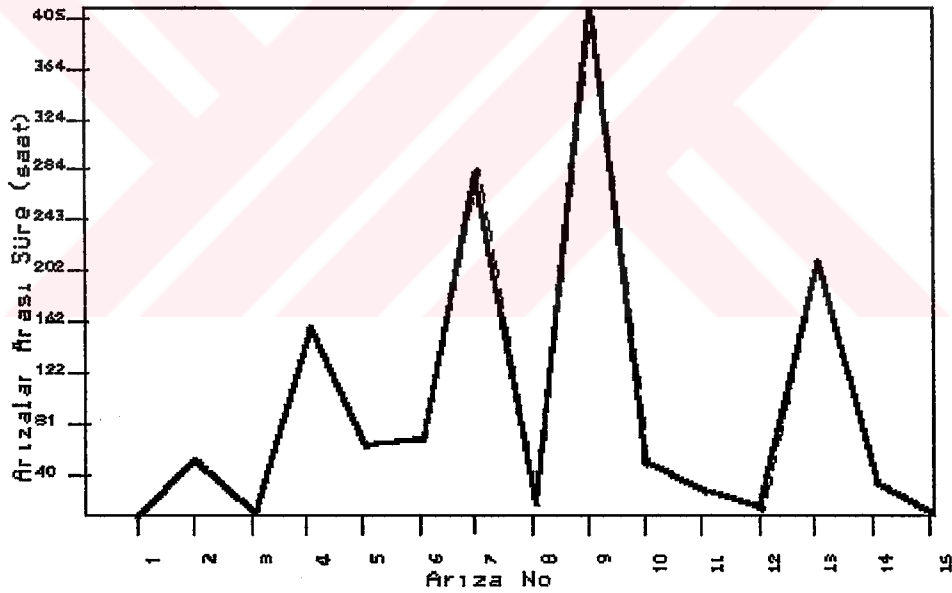
Tablo 4.1. R962HD Liebherr Hidrolik Ekskavatöre Ait Bakım Verileri

ARIZA NO	ÇALIŞMA SAATI	ARIZA GRUBU	TAMİR SÜRESİ (sa)
1	8375	HİDROLİK	30
2	8420	SOĞUTMA	23
3	8422	MEKANİK	1
4	8572	MEKANİK	2
5	8627	MEKANİK	12
6	8691	MEKANİK	5
7	8965	MOTOR	7
8	8975	MOTOR	30
9	9380	HİDROLİK	60
10	9421	MOTOR	40
11	9441	MEKANİK	250
12	9446	HİDROLİK	8
13	9648	FREN	1
14	9675	MEKANİK	300
15	9677	HİDROLİK	295

Sözkonusu ekipmana ait elde edilen bu veriler "BAKPRO" ya girildikten sonra Şekil 4.4' te verilen istatistiksel hesaplamalar elde edilmiştir. Görüleceği üzere, bir yıllık zaman periyodu içerisinde hazır bulunma %55 civarındadır. Bu değer düşük olması özellikle mekanik ve hidrolik sistemde meydana gelen arızalardan kaynaklanmaktadır. Öte yandan, elektrik ve diğer sistemlerde bu süre içerisinde hiçbir arıza gözlenmemiştir. Bu durumda bakım yöneticilerinin ekipmanın genel hazır bulunmasını azaltan mekanik ve hidrolik sistemlerine dikkatlerini vermeleri gerekmektedir. Şekil 4.4' te verilen değerler yardımıyla oluşturulan ekipmanın geneline yönelik arızalar arası sürenin eğilimi ise Şekil 4.5' te gösterilmektedir. Ancak verilerin kısa bir zaman dilimini kapsamaması, bu hesaplamalar ve eğilim grafiğinin ekipmanın uzun dönemdeki durumu hakkında bilgi verecek yeterlilikte olmamasına neden olmaktadır.

LIEBHERR	ARIZALAR ARASI ORT. SÜRE (sa)	ORTALAMA TAMİR SÜRESİ (saat)	HAZIR BULUNMA (%)
GENEL	86.80	70.27	55.26
HİDROLİK	325.50	95.75	77.27
ELEKTRİK	0.00	0.00	100.00
MEKANİK	208.83	95.00	68.73
SOĞUTMA	0.00	23.00	99.73
MOTOR	152.00	25.67	85.55
FREN	0.00	1.00	99.99
DİĞER	0.00	0.00	100.00

Şekil 4.4. Liebherr Ekskavatöre Ait İstatistiksel Hesaplamalar



Şekil 4.5 Liebherr Ekskavatöre Ait Arızalar Arası Sürenin Eğilimi

Mevcut bakım verileri kullanılarak tahmin edilen bir sonraki arıza saati Şekil 4.6' da verilmektedir. Programın bu kısmında mevcut tüm ekipmanlara ait arıza tahminleri verilebilmektedir. Ancak programa yalnızca Liebherr Ekskavatöre ait veriler girildiğinden, bu ekipmana ait arıza tahmin değeri yer almaktadır. Burada mekanik sistem dışındaki alt sistemler için arıza tahmini veri yetersizliği nedeniyle yapılamamıştır. Şekilde verilen "A.Saati" ile şu andaki araç saati kastedilmektedir.

Buna göre ekipman şu anda 9850. çalışma saatinde ve 10531. saatte mekanik sistemde bir arıza beklenmektedir. Ancak, bu hesaplamada kullanılan veri sayısının azlığı, hesabın güvenilirliğini azaltmaktadır.

EKİPMANLARIN GENEL DURUMU									
EKİPMAN ADI	KODU	A.SAATI	Hydro.	Elek.	Mekan.	Soğut.	Motor	Fren.	Diğer
LIEBHERR	R962HD	9850	-	-	10531	-	-	-	-

Şekil 4.6. Liebherr Ekskavatöre Ait Tahmini Arıza Saati



## 5. SONUÇ

Bakım faaliyetleri, gerek işletmenin karlılığı ile doğrudan ilişkili olması, gerekse üretimin planlara göre yürütülebilmesindeki etkileri nedeniyle madencilik sektöründe gittikçe daha fazla önem kazanan bir alan haline gelmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucu bakımla ilgili olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- ◇ Bakım, verimlilik ve hazır bulunma kriterlerine etki ederek üretim hedeflerine ulaşma amacını destekleyici olmasından ötürü, ekipmanın minimum maliyetle çalıştırılmasında önemli bir husustur.
- ◇ Özellikle bakımın ekipman güvenilirliği kriterine olan olumlu katkısı, ekipmanın çalışıp çalışmamasından kaynaklanan maliyetler ile ilişkilendirildiğinde, ekipmanın çalışmasından kaynaklanan beklenen karın güvenilirlikle orantılı olarak arttığı hususu belirlenmiştir. Bu durumda beklenen karı artırmak iyi bir bakım planlaması ve tatbiki ile mümkün olmaktadır.
- ◇ Bakım politikaları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.
  - A) Bozulma Bakımı
    - i) Düzeltici Bakım
      - Küçük Tamirleri
      - Revizyon
    - ii) Acil Bakım
  - B) Önleyici Bakım
    - i) Periyodik Bakım
    - ii) Tahmini Bakım
      - Gerçek Zamanlı Tahmini Bakım
      - Hesaplama Esaslı Tahmini Bakım
- ◇ Genel olarak, bir madencilik faaliyeti için birim bakım maliyetinin düşük olduğu ve ekipmandan maksimum faydanın elde edileceği bakım politikası



seçilmelidir. Özellikle büyük iş hacmine sahip, yüksek yatırım gerektiren ve ekipmanın faaliyet verimliliğindeki yerinin önemli olduğu durumlarda bu politika *Önleyici Bakım Politikası*'dır

- ◇ Bir faaliyette önleyici bakım politikasının izlenmesi durumunda, ekipman ihtiyaçları doğrultusunda belirlenmiş bakım periyodları, yapılacak bakım işi, gerekli yedek parça, işçi sayısı ve gerekli süre gibi faktörleri kapsayan ayrıntılı planlara ihtiyaç olmaktadır. Bu planları oluşturmak için; bakım verilerinin toplanması ve bu verilerin amaçlar doğrultusunda işlenmesi gereksinimi vardır. Bunun ise, bir bilgi sistemi aracılığı ile yapılabileceği ortaya konmuştur..
- ◇ Yukarda sözü edilen ihtiyaca yönelik olarak bilgisayar destekli bir bakım programı hazırlanmıştır. Program aşağıdaki hususları sağlamaktadır.
  - Bakım verilerinin düzenli olarak bir veri tabanına aktarılması
  - Bu verilerle yapılan hesaplamalar sonucu, uygulamadaki aşırı ve yetersiz durumların belirlenmesine yönelik değerlendirme bilgilerine ulaşılması
  - Güvenilirlik analizi yardımı ile bir sonraki bakım zamanının belirlenmesi ve gerekli uyarıların yapılması

## KAYNAKLAR

1. Barish N. N. , Kaplan S. ; *Economic Analysis For Engineering and Managerial Decision Making*, McGraw- Hill Book Company, USA, 1978
2. Cebesoy T. ; " *Bir Optimum Ekipman Yenileme Modeli*", Madencilik Dergisi, Eylül, 1994
3. Cebesoy, T. ; " Maden Ekipmanları İçin Bir Rasyonel Bakım Planlaması Modeli: Önleyici Bakım ", Türkiye 10. Kömür Kongresi, Mayıs, 1996
4. Chadwick J. ; " *Maintaining Productive Earthmover Performance*" , Mining Magazine, January, 1992
5. Corder A. S. ; *Maintenance Management Techniques*, McGraw-Hill Book Company, UK, 1976
6. Dieter G. ; *Engineering Design*, McGraw- Hill Book Company, Japan , 1983
7. Feigenbaum A. V. ; *Total Quality Control* , McGraw- Hill Inc., Singapore, 1991
8. Golosinski T. S. , Abernethy J. W. ; " *Benchmarking the Performance of Western Australian Mines*" , Third Mine Planning and Equipment Selection Sym., ed. Paşamehmetoğlu A. G. , 1994
9. Jansenn A. T. ; " *Maintenance & Management* " , WME, 1992
10. Jones R. B. ; *Risk Based Management*, Gulf Publishing Company, Texas, 1995
11. Kocaalan B. ; " *Endüstriyel Gelişme ve Bakım*" , Makina Mühendisliği El Kitabı, ed. Cerit A. M. , Ankara, 1983
12. Kumar D. , Vagenas N. ; " *Performance Evaluation of an Automatic Load-Haul-Dump Vehicle*" , CIM Bulletin, October, 1993
13. Kumar D. , Kumar U. , Lindqvist P. A. ; " *Design of a Predictive Maintenance Module For Mining Equipment*" , Third Mine Planning and Equipment Selection Sym., ed. Paşamehmetoğlu A. G. , 1994
14. Kumar U. ; " *Maintenance: Recent Trends in Technology and Management*" , World Mining Equipment, September, 1992

15. Kumar U. ; " *Availability Studies of Load-Haul-Dump Machines*" , 21th Apcom Symposium, ed. Weiss A. , 1989
16. Kumar U. , Klefsjö B. ; " *Reliability Analysis of Hydraulic Systems of LHD Machines Using The Power Law Process Model*" , Reliability Engineering and System Safety, 1991
17. Kumar U. ; " Maintenance Strategy for Mechanized and Automated Mining Systems", yayınlanmamış, 1986
18. Lloyd G. W. , Grinder J. L. ; " *Effective Maintenance Management at Doe Run*" , Mining Magazine, January, 1992
19. Meyer P. L. ; *Introductory Probability and Statistical Applications*, Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1978
20. Paraszczak J., Perreault J. F. ; " *Reliability of Diesel Powered Load- Haul-Dump Machines in an Underground Quebec Mine*", CIM Bulletin, March, 1994
21. Parr E. A. ; *Industrial Control Handbook*, Butterworth- Heinemann Ltd., UK, 1995
22. Rao S. S. ; " Time Dependent Reliability of Components and Systems", Reliability Based Design, McGraw- Hill Inc., USA, 1992
23. Rothbart H. A. ; *Mechanical Design& Systems Handbook*, McGraw- Hill Inc.,1986
24. Taha H.A. ; *Operations Research*, Macmillan Publishing Company, USA, 1992
25. Taylor J. R. ; *Maintenance*, SME Mining Engineering Handbook, ed. Given I. A., USA, 1973
26. Tomlinsom P. D. ; *Mine Maintenance Management*, Kendall/ Hunt Publishing Company, USA, 1994
27. Topuz E., Baral S. ; " *A Maintenance Scheduling Policy For Mining Equipment*" , 17th Apcom Symposium, ed. Johnson T. B.& Bornes R. J., 1982
28. Tostengard G. ; " *Good Maintenance Management*" , Mining Magazine, February, 1994

29. Vagenas N., Kumar U., Rönkvist E. ; " *Analysis of Truck Maintenance Characteristics in a Swedish Open Pit Mine*" , International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 1994



## ÖZGEÇMİŞ

Sermin ELEVLI, 1973' te Hollanda' da doğmuştur. 1990 yılında Sivas Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 1994 yılında bu bölümden mezun olduktan sonra C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış ve halen bu göreve devam etmektedir. Evli ve İngilizce bilmektedir.

