

**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**

**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

Ömür TOSUN

TAMİR – BAKIM PLANLAMASI  
VE  
BİR UYGULAMA

Danışman

Prof. Dr. Orhan KURUÜZÜM

İşletme Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

Antalya, 2007

**Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,**

Bu çalışma, jürimiz tarafından .....  
..... Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ OLARAK kabul edilmiştir.

İmza

Başkan. ....

Üye(Danışman): . ....

Üye: .....

**Onay:** Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

... / ... / 2007

İmza

.....

Müdür

## İÇİNDEKİLER

TABLOLAR	iii
ŞEKİLLER	iv
KISALTMALAR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ÖNSÖZ	viii
<b>GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>I. BÖLÜM: ÜRETİM SİSTEMLERİNDE TAMİR – BAKIM FAALİYETLERİ</b>	<b>3</b>
1.1. Tamir – Bakım Fonksiyonunun Tarihsel Gelişim	5
1.2. Bakım Kavramı	7
1.3. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Kapsamı	9
1.4. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Amacı	9
1.5. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Üretime Etkisi	10
<b>II. BÖLÜM: TAMİR – BAKIM SİSTEMİNİN YAPISI</b>	<b>12</b>
2.1. Bakım Fonksiyonunun Organizasyondaki Yeri ve Önemi	14
2.2. Tamir – Bakım Sisteminin Tasarımı	15
2.3. Tamir-Bakım Faaliyetlerinin İşletme İçindeki Yeri ve Önemi	17
2.4. Tamir – Bakım Fonksiyonunun Diğer İşletme Fonksiyonlarıyla İlişkisi	18
2.5. Bakım Karar Destek Sistemi	20
2.5.1. Karar değişkenleri	20
2.5.1.1. Neyin bakımı yapılacak?	20
2.5.1.2. Bakım nasıl gerçekleştirilecek?	21
2.5.1.3. Bakımı kim gerçekleştirecek?	21
2.5.1.4. Bakım nerede yapılacak?	21
2.5.2. Bakım sistemi çıktıları	25
2.5.3. Bakım sistemi bilgi girdileri	25
2.5.4. Bakım sistemi kısıtları	26
2.5.5. Bakım sisteminin performans ölçütleri	26
2.6. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Önemini Arttıran Sebepler	28
2.7. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Sınıflandırılması	28

2.7.1. Reaktif Bakım	30
2.7.2. Proaktif Bakım	30
2.7.2.1. Önleyici bakım	31
2.7.2.2. Koruyucu Bakım	32
2.7.3. Saldırgan Bakım	33
2.7.3.1. Toplam Üretken Bakım	34
2.7.3.2. Güvenirlilik Tabanlı Bakım	35
<b>III. BÖLÜM: TAMİR – BAKIM FAALİYETLERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER</b>	<b>37</b>
3.1. Tamir-bakım faaliyetleri için yöntem tespiti	37
3.2. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Sınıflandırılması	39
3.2.1. Bakım Derecesine Göre Sınıflandırma	39
3.2.2. Bakım politikasına göre sınıflandırma	40
3.2.3. Optimallik Kriterine Göre Sınıflandırma	41
3.3. Bakım modelleri ile ilgili literatür taraması	42
<b>IV. BÖLÜM: ÜRETİM SİSTEMLERİNDE BAKIM FAALİYETLERİNİN PLANLANMASI</b>	<b>49</b>
4.1. Planlama	51
4.2. Çizelgeleme	52
<b>V. BÖLÜM: UYGULAMA</b>	<b>54</b>
5.1. Markov Zincirleri	54
5.1.1. Sürekli Zamanlı Markov Zincirleri	58
5.2. Model	59
5.2.1. Asansör Alt Sistemi	63
5.2.2. Bulgular	66
SONUÇ	67
KAYNAKÇA	69
EK – A	76
EK – B	78
EK – C	79
EK – D	80
ÖZGEÇMİŞ	83

**TABLULAR LİSTESİ**

Tablo 5.1. Dört olası durumlu bir sistem için geçiş matrisi	55
Tablo 5.2. Duyarlılık analiziyle elde edilen sonuçlar	63

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Üretim-bakım ilişkisi	4
Şekil 1.2. Bakım fonksiyonunun tarihsel gelişimi	5
Şekil 2.1. Bakım yönetim sisteminin aşamaları	13
Şekil 2.2. Bakım fonksiyonunun diğer karar alanlarıyla etkileşimi	19
Şekil 2.3. Bakım karar sistemi	20
Şekil 2.4. Merkezi bakım organizasyonu	22
Şekil 2.5. Merkezi olmayan bakım organizasyonu	23
Şekil 2.6. Bakım alternatiflerinin maliyet ilişkileri	27
Şekil 4.1. Bakım planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin akış şeması	53
Şekil 5.1. Markov geçiş diyagramı	57
Şekil 5.2. İşletme bakım sistemi durum geçiş diyagramı	60
Şekil 5.3. Asansör alt sistemi durum geçiş diyagramı	64
Şekil 5.4. Kullanılabilirlik - $\lambda_{in}$ grafiği	65
Şekil 5.5. Toplam maliyet - $\lambda_{in}$ grafiği	65

**KISALTMALAR**

- TB Tamir – Bakım  
ÖB Önleyici Bakım  
TÜB Toplam Üretken Bakım  
GTB Güvenirlik Tabanlı Bakım  
AHP Analitik Hiyerarşi Yöntemi  
GA Genetik Algoritma

## TAMİR – BAKIM PLANLAMASI VE BİR UYGULAMA

### ÖZET

Günümüz işletmelerinde ürün veya hizmet üretimi sırasında kullanılan ekipman veya tezgahlar kaçınılmaz olarak yıpranmakta, bu durum da tamir – bakım fonksiyonuna olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır.

Pek çok işletmede bakıma sadece ekipman bozulduktan sonra ihtiyaç duyulmakta, bu ise bakımın hatayı önleme ve geciktirme felsefesiyle çatışmaktadır.

İşletmelerde tamir (veya onarım) ile bakım birbiriyle karıştırılmaktadır. Tamir hata oluşuktan sonra gerçekleşen hatanın giderilmesi, bakım ise hata oluşumunu önlemek veya geciktirmek için yapılan temizlik, izleme, kontrol ve iyileştirme gibi faaliyetlerin tümünü içermektedir.

Bu çalışmada, bir otel işletmesinin tamir – bakım sistemi markov zincirleri yardımıyla modellenmektedir. Modelde sistem güvenilirliğini maksimize edecek optimal muayeneler arası ortalama süre hesaplanmaktadır.



## **MAINTENANCE PLANNING AND AN APPLICATION**

### **ABSTRACT**

In manufacturing or service firms, to produce any type of product, at least one kind of equipment is used. As a result of this usage, equipment can deteriorate in time. This deterioration raised the needs of maintenance function.

In most firms maintenance is needed after the equipment's failure which is opposite to maintenance philosophy, prevent or delay failure occurrence.

In today's competitive world, company's still confuse maintenance with repair. Repair is performed after if any failure occurs, but maintenance including actions like cleaning, lubricating, controlling or inspecting aims to detect failures before happens.

In this study, a hotel's maintenance system is modeled by using markov chains. Optimal mean time between inspections is found to maximize system's availability.

## ÖNSÖZ

Bugünlere gelmemde ve bu çalışmayı hazırlamamda emeği geçen başta eşim Nedret TOSUN ve ailem olmak üzere bütün hocalarıma; tez konusunda ve bütün konularda desteği hiç azalmayan hocam Prof. Dr. Orhan KURUÜZÜM'e; oda arkadaşım Onur DİRLİK ve tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

## GİRİŞ

Gelişen dünya ekonomisi bir yandan rekabeti arttırırken, bir yandan da kaynak teminini zorlaştırmaktadır. Bunun sonucu işletmeler üretim faaliyetlerini devam ettirmeyi zorlaştırıcı bir darboğazla karşı karşıya kalmaktadırlar. Üretim sistemi sadece girdilerin etkin kullanımını için değil, aynı zaman da üretimi yapan sistemin ihtiyaçlarını karşılamak için de bir takım girdilere ihtiyacı duyar. Kullanılan ekipmanın tamir – bakımı (TB) üretim maliyetleri üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bu yüzden bakım faaliyetlerinin üretim üzerine etkisi göz ardı edilmemelidir.

Belirli bir ekipmanı çalışır halde tutmak, arızalanmasını önlemek ve özelliklerini yitirmiş bir ekipmanı tekrar eski haline getirmek için yapılan bütün faaliyetlere bakım adı verilmektedir. Bakım bu amaçlara yönelik teknik, idari, yönetsel ve denetim faaliyetlerinin bir bütünü olarak değerlendirilmektedir. Bakım için aşağıdaki tanımlar kullanılabilir (EÜAŞ, 2007, s. 1):

1. Test, ölçme, değiştirme, ayarlama ve tamir gibi, işlevsel bir ekipman ünitesinin belirli işletme şartlarını karşılayacak şekilde üzerine yüklenen işlevlerini yerine getirebilmesi amacıyla gerçekleştirilen bütün faaliyetlerdir.
2. Denetim, test, hizmet, sınıflandırma gibi bir ekipmanın bakımı, tamiri, yeniden monte edilmesi, iyileştirilebilmesi, vb. gibi ekipmanın önceden belirlenmiş işletme koşullarını korumak ve sürekliliğini sağlamak amacıyla gerçekleştirilen bütün faaliyetlerdir.
3. Bir ekipmanın görevini yerine getirebilmesi için gerçekleştirilen tedarik ve tamir faaliyetleridir.
4. Bir tesisi, binayı, yapıyı, üretim tesisini, elektrik santrali sistemini, vb sürekli işlevini yerine getirecek şekilde tutmak, orijinal ve tasarlanmış kapasitesini ve amaçlanan görevi yerine getirebilmesi için gerekli verimini sürekli belirli bir düzeyde olmasını sağlamak amacıyla düzenli ve sürekli olarak gerçekleştirilen planlı faaliyetlerdir.

Eğer bakım nedir demek istersek; eninde sonunda bakımın yürütülmesi pek çok veya tüm bilim dallarına bağlı olduğundan bakım bir bilimdir. Bakım bir sanattır çünkü benzer görünen sorunlar sürekli olarak değişik yaklaşımlar ve eylemler gerektirmektedir. Örneğin bazı mühendisler, formenler ve teknisyenler diğerlerinin kazandığından daha

fazla ustalık kazanmakta ve daha fazla yetenek sergilemektedirler. Bakım bütün bunların üzerinde aynı zamanda bir felsefedir çünkü sıklıkla ani ve apaçık çözümlerin sınırlarını aşan pek çok farklı değişkene bağlı olarak yoğun ve alçakgönüllü bir biçimde uygulanabilen bir disiplindir. Bakım yine bir felsefedir çünkü bir takım elbiseyi giyen kişiye elbisenin olması gibi bakımın etkinliğini şekillendirecek olan işletme veya kuruma dikkatli bir biçimde uydurulması gerekir (EÜAŞ, 2007, s. 1).

Bu bakış açısıyla yola çıkarak bu çalışmada tamir – bakım faaliyetlerinin genel bir tanımını yapılacak, işletme fonksiyonlarıyla olan ilişkileri anlatıldıktan sonra markov zincirleri kullanılarak bir bakım sistemi modellenmeye çalışılacaktır.

Çalışmanın birinci bölümünde sistem yaklaşımından yola çıkarak TB fonksiyonunun gelişimi ve işletme için önemi anlatılacaktır. İkinci bölümde, TB sisteminin yapısı, işletme açısından önemi ve TB faaliyetlerinin sınıflandırılması anlatılacaktır. Üçüncü bölümde, TB faaliyetlerinde kullanılan yöntemler ve modeller anlatılarak kısa bir literatür taraması yapılacaktır. Dördüncü bölümde, TB faaliyetlerinin planlaması ve çizelgelenmesi işlenecektir. Son bölümde de markov zincirleri kullanılarak bir TB sistemi modellenerek maliyet minimizasyonu ve kullanılabilirlik maksimizasyonu için optimal sonuçlar elde edilmeye çalışılacaktır.

## 1. BÖLÜM

### ÜRETİM SİSTEMLERİNDE TAMİR – BAKIM FAALİYETLERİ

Ekonomistler üretimi fayda yaratmak olarak tanımlarken; mühendisler, fiziksel bir varlığın değerini arttıracak değişiklikler yaparak, hammadde veya yarı mamulleri kullanılabilir bir ürüne dönüştürmeyi üretim olarak tanımlamaktadır (Kobu, 1998, s. 1).

Üretim kavramı sistem yaklaşımı içerisinde değerlendirildiğinde, “nihai amacı insan ihtiyaçlarını karşılamak olan ve üretim faktörlerini bu amacı gerçekleyecek biçimde üretken kombinasyonlar halinde bütünleştirerek fiziksel ürünler veya hizmetler sunan, yaşayan, dinamik bir organize bütün” olarak ifade edilmektedir (Kuruüzüm, 1986, s. 7). Üretim sistemleri, üretim yönetimi, mamul cinsi, mamul miktarı veya üretim akışı gibi kriterler doğrultusunda farklı şekillerde sınıflandırılabilir.

Genel olarak sistem, ortak bir amaca yönelik olarak çalışan ve karşılıklı ilişki ve etkileşimli elemanlardan oluşan bir bütündür (Üreten, 1997, s. 7). Yani sistem bir bütündür ve birçok alt sistemden oluşur. Üretim/işlemler faaliyetini üç farklı boyutta sistem kavramı yardımıyla açıklayabiliriz (Üreten, 1997, s. 7):

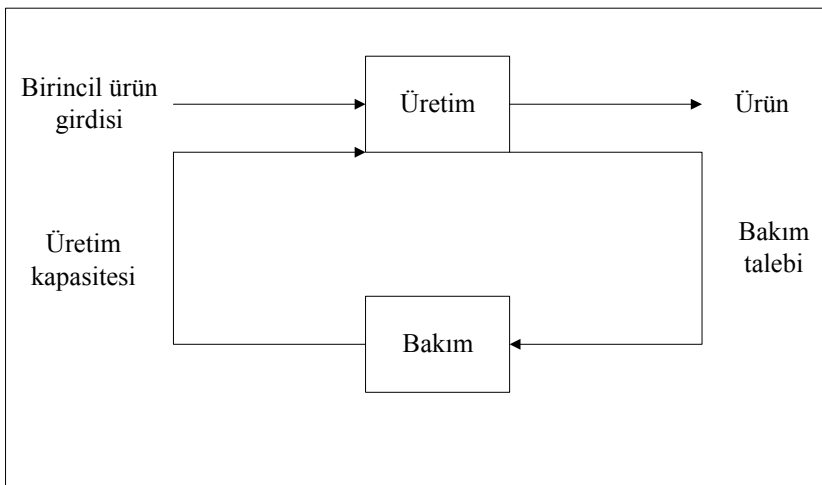
1. Bir dizi girdiyi bir dizi arzulanan çıktıya dönüştürme amacı taşıyan üretim/işlemler sistemi,
2. Üretim/işlemler sistemi içinde girdileri çıktıya dönüştürme amacı taşıyan dönüşüm alt sistemi,
3. Üretim/işlemler sistemi içinde, gerektiğinde düzeltme yapılmasını sağlayacak geri besleme uyarılarını göndermek üzere çıktının izlendiği denetim alt sistemi.

İşletme sistemi içinde bir alt sistem olan üretim sistemleri, malzeme, işgücü, sermaye, enerji, bilgi gibi girdileri bir dönüşüm alt sisteminden geçirmek suretiyle ürün yada hizmet şeklinde çıktılar yaratırlar. Daha sonra miktar, maliyet ve kalite boyutlarında çıktının kabul edilebilir olup olmadığının belirlenmesi için denetim alt sistemi ile izlenmesi gerekmektedir. Çıktının kabul edilebilir bulunması halinde sistemde herhangi bir değişikliğe gerek yoktur ancak istenen standartlar karşılanmıyorsa yönetim gerekli düzeltmeyi yapmalıdır.

Dolayısıyla, denetim alt sisteminin geri bildiriyle sistem başarısının kararlı bir düzeyde sürdürülmesi sağlanır (Üreten, 1997, s. 7).

Kalitesiz ürün üretmenin önde gelen sebebi üretim ekipmanlarının sadece üretim yapan araçlar olarak düşünülmesi yaklaşımıdır. Bunun sonucunda pek çok işletme bakım faaliyetlerini küçümsemekte, işletme üzerindeki bir kambur olarak görmektedir. Yani üretim ekipmanına çalıştığı sürece önem verilmemekte sadece arıza oluşuktan sonra o arızanın giderilmesi için bakım personeli seferber olmaktadır. Bu durum da üretimin aksamasına ve maliyet artışına yol açmaktadır. Sonuç olarak, bakımın amacına uyulmadığı için sadece tamir yapılarak gün kurtarılmaktadır. Bakımın önemi, ekipmanın arızalanmasını önleyerek veya geciktirerek o ekipmanın verimliliğini maksimize etmesiyle, belirli aralıklarla yapılan muayenelerle ekipmanın durumunun kontrol altına almasıyla, yağlama veya temizlik gibi küçük faaliyetlerle çalışabilirliğini veya güvenilirliğini maksimize etmesiyle ortaya çıkmaktadır.

Bakım aynı zamanda işletme organizasyonu içerisinde üretimle paralel çalışan bir fonksiyon olarak da düşünülebilir. Üretimin birincil çıktısı istenen üründür, ikincil çıktısı ise bakıma olan taleptir ki buda bakım fonksiyonunun girdisidir. Bakım üretim kapasitesi olarak üretimin ikincil girdisini oluşturur. Üretim ürün üretirken, bakım da üretim için kapasiteyi üretir. Dolayısıyla bakım üretim kapasitesini arttırarak ve çıktının kalitesi ile miktarını kontrol ederek üretimi etkiler, kapasitenin sürekliliğini sağlar. Bu ilişkiyi Şekil 1.1'de görebiliriz (Ben-Daya ve Duffuaa, 1995, s. 21).

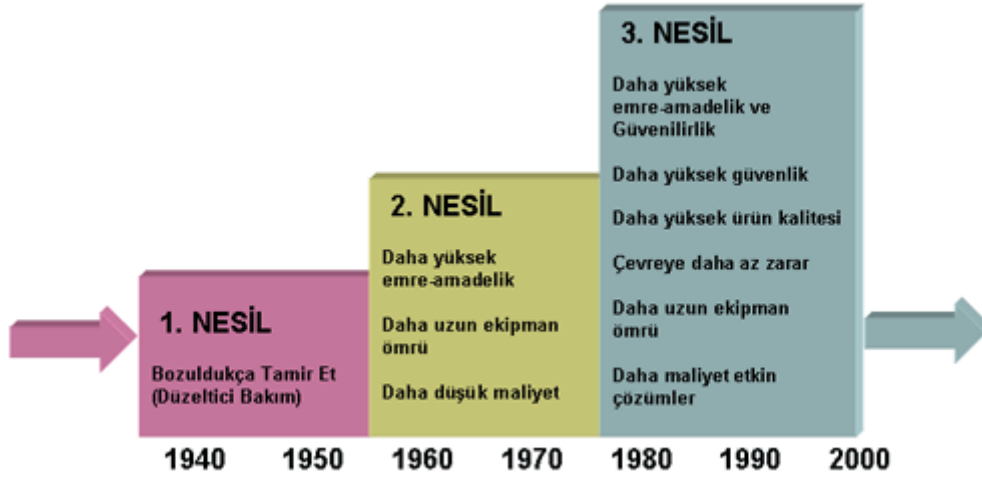


Şekil 1.1. Üretim-bakım ilişkisi (Ben-Daya ve Duffuaa, 1995, s. 21)

### 1.1. Tamir – Bakım Fonksiyonunun Tarihsel Gelişim

Bakım, aletin ilk icat edildiği veya işletmeye konduğu andan itibaren var olan bir kavramdır. Çalışan teçhizat veya makinenin bozulması, yıpranması kaçınılmaz olduğuna göre bunun sonucunda bakım da var olmaktadır. Endüstri geliştikçe ve otomasyona gidildikçe yatırım giderleri artmakta, işçilik giderleri azalmaktadır. Yatırım giderlerine bağlı olarak bakım giderleri de artmaktadır (Kısmet, 2001, s. 1).

Bakım felsefesinin 3 farklı tarihsel gelişim evresinden geçtiğini söylemek mümkündür. 1. nesil olarak adlandırılabilir ilk evre II. Dünya Savaşı'na kadar olan dönem kapsamaktadır. O günlerde sanayi henüz çok mekanize değildi ve ekipmanların arızalı duruşları çok önemli değildi. Birçok tesis yöneticisi ve mühendisi tarafından, ekipmanların arızalanmasının önlenmesi yüksek öncelikte bir husus olarak kabul edilmemekteydi. Dahası bu dönemlerde birçok ekipman çok basit tasarıma sahipti ve bu ekipmanları tamir etmek oldukça kolaydı. Dolayısıyla arıza önleme tekniklerine ihtiyaç fazla duyulmamaktaydı. Bu yıllarda, tesislerin çoğunda temizleme, tamir ve yağlama dışından kapsamlı ve sistematik bir bakım yönetim sistemi bulunmamaktaydı (EÜAŞ, 2007, s. 2-3).



Şekil 1.2. Bakım fonksiyonunun tarihsel gelişimi (EÜAŞ, 2007, s. 2)

II. Dünya Savaşı sırasında bakım konusunda işler birdenbire dramatik bir şekilde değişmiştir. Savaş sırasında artan üretim talepleri, tesislerdeki makineleşmeyi büyük ölçüde arttırmıştır. 1950'li yılların ardından, tesislerde çok sayıda ve çok karmaşık makineler kullanılmaya başlanmıştır. Sanayi de hızla bu makinelere bağımlı hale

gelmiştir. Makinelere olan bu bağımlılık arttıkça, makinelerin emre-amadelikleri de büyük önem kazanmaya başlamıştır. Makinelerin arızalanması büyük üretim kayıpları anlamına gelmektedir. Bu da arızaların önlenebileceği fikrinin doğmasına sebep olmuştur ve "önleyici bakım" felsefesi geliştirilmeye başlanmıştır. 1960'lı yıllara gelindiğinde, sanayi tesislerinde "periyodik önleyici bakım" çalışmaları hızla yaygınlaşmıştır. Bütün bu gelişmeler, bakım maliyetlerinin de hızla artmasına sebep olmuştur. Bu maliyet artışları "bakım yönetimi" ve "bakım planlama ve kontrol" sistemlerinin geliştirilmesine sebep olmuştur. Bakım yönetim sistemleri sayesinde, bakım maliyetleri büyük ölçüde kontrol altına alınabilmiştir ve "bakım yönetim sistemleri" artık bakım faaliyetlerinin standart bir bileşeni haline gelmiştir .

1970'li yılların ortalarından itibaren sanayi sektöründeki değişim petrol krizi gibi nedenlerden dolayı büyük bir ivme kazanmıştır. Değişim temel olarak, yeni beklentiler, yeni araştırma çalışmaları ve yeni yöntemler üzerinde odaklanmıştır. Tesislerdeki arıza duruşlarının, fiziksel varlıkların üretim kapasitelerini azalttığı, üretim maliyetlerini arttırdığı ve müşteri memnuniyetsizliğini tetiklediği fark edilmiştir. Sanayi tesislerinde güvenilirlik ve emre-amadelik çok daha fazla önem kazanmıştır. Örneğin, ekipman arızalarının bir binadaki iklimlendirme sisteminin durmasına, toplu taşıma araçlarının dakikliğini kaybolmasına, üretim sektöründe ürünlerin kalite özelliklerinin etkilenmesine, güvenlik ve çevrenin olumsuz etkilenmesine sebep olduğu daha iyi anlaşılmıştır. Güvenlik ve çevre konularında hızla yükselen standartlar ve halk bilinci, şirketleri ya çevre ve güvenlik etkilerine sebep olan arızaları en aza indirmeye ya da tamamen işletmeyi kapatma arasında tercih yapma noktasına getirmiştir. Tesislerdeki varlıkların etkin bakımları ve sağlam halde tutulması, şirketler için ölüm-kalım meselesi haline gelmiştir. Gelişen teknoloji ile beraber, varlık yönetimi, kestirimci bakım gibi kavramlar hızla gelişmiş ve 3. nesil bakım felsefesi olarak yaygınlaşması hali hazırda devam etmektedir (EÜAŞ, 2007, s. 2-3).

Yirminci yüzyılda otomasyonun, endüstrilerin doğal bir gelişmesi haline geldiği görülmektedir. Üretimde çalışan personelin azalmasına karşılık, bakım işlerine sarf edilen işçilik saatleri giderek artmaktadır. Tamamen otomasyona dayalı bir endüstride üretim personeli hiç bulunmasa bile, bakım personeli bulunmak zorundadır. Eğer bu gerçekleri yönetim açısından değerlendirecek olursak, bakım işlerine sarf edilen paranın, toplam bütçe içindeki payının giderek artmakta olduğu görülür. Bir tesiste bakım, kısa zamanda (makine ve teçhizat yoğunluğu arttığı oranda) büyük bir bütçeye ulaşır. Çünkü emek ağırlıklı işletme



ortamından otomasyona geçişte işçilik ve yatırım giderleri ile üretim ve bakım giderleri de doğrusal olarak artmaktadır (Kısmet, 2001, s. 1).

Bakım faaliyetlerinin önemi uzun yıllardan bilinmekle beraber günlük hayattaki önemi II. Dünya Savaşı sırasında maliyet ve iş gücü kullanımındaki artışla ön plana çıkmıştır. Savaştan sonra mühendislik faaliyetlerindeki ve bilimdeki gelişmelere paralel olarak, insanın kendisi için üreteceği pahalı ve karmaşık mal ve hizmetler için oldukça önemli bir konu olan bakım faaliyetlerinin önemi iyice açığa çıkmıştır.

## **1.2. Bakım Kavramı**

Bir işletmede kullanılan en küçük bir el aletinden büyük bir tezgaha kadar kullanılan her türlü alet veya ekipman yıpranır dolayısıyla bakımın kaçınılmaz bir faaliyet olduğu unutulmamalıdır. Bakım masrafları, imalat ve üretim tesislerinin toplam işletme giderlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Endüstri türüne göre değişse de, bakım masraflarının toplam işletme giderlerinin %15 ila %60 arası bir bölümünü oluşturduğu bilinmektedir. Yine yapılan çalışmalara göre, işletme ve bakım masrafların büyük bir kısmı, yanlış, sistematik olmayan ve planlı gerçekleştirilmeyen bakım yöntemleri nedeniyle boşa harcanmaktadır. Etkin olmayan bakım yöntemleri ayrıca üretilen ürünün kalitesine ve emre-amadeliğine de büyük etki yapabilmektedir. Rekabetçi bir piyasada bu etki önemli sonuçları da beraberinde getirmektedir.

Günümüz rekabetçi iş ortamında, kalite ve maliyet etkinliği ön plandadır. Kaynakların daha etkili kullanımı ve maliyet etkinliği için üretim sistemlerinin optimizasyon çalışmaları önem kazanmaktadır. Üretim ve hizmet sistemleri onlarla ilgili bakım sistemleri ile oldukça yoğun işbirliği içindedirler. Bakım sistemi, üretim sistemini güvenli ve en düşük maliyetle çalışabilir halde tutmak için onunla paralel çalışmaktadır (Duffuaa ve Al-Sultan, 1997, s. 163).

Endüstriyel gelişmeye paralel olarak işletmelerin büyümesi, arıza nedeni ile meydana gelen duruş maliyetlerinin ve müşteri tatminsizliğinin artması, yoğun mücadeleye sahip olan piyasa ortamında diğer rakipler karşısında rekabet üstünlüğü elde edebilmek için son yıllarda bakım faaliyetlerine verilen önem artmıştır. Sermayenin verimli olarak kullanılabilmesi, maksimum sermaye gelirin sağlanması (başka bir deyişle mevcut ekipmanla maksimum düzeyde hizmet sunulması/üretim yapılması), ekipmanın faydalı kullanım ömrünü en üst

seviyeye taşınmasına ve bunların en az masrafla gerçekleştirilmesine bağlıdır (Erciş, 1995, s. 1).

Üretici için en önemli husus, makineleri mümkün olduğu kadar fazla çalıştırmaktır. Üretimdeki her kesiklik üretim kaybı demektir. Genellikle makineyi gelişi güzel onarıp, çalıştıracak geçici birini talep eder ve böylece mümkün olan en kısa duruştan sonra yeniden üretime başlamayı hedefler (Kısmet, 2001, s. 2).

Bir üretim sistemindeki tüm bileşenler yıpranmaya maruzdurlar ve bu nedenle görevlerini yerlerine getirirken arızalar oluşabilmektedir. Yıpranmaların hangi hızla ortaya çıkacağı ve hataların hangi sıklıkla çalışanı, ekipmanı ve belkide tüm sistemi boş bırakmaya zorlayacağı sürecin tasarımına ve çalışma koşullarına bağlıdır. Zayıf bakım, hatalı çıktıya, çalışmama sürelerine ve tamirler sonucu üretim maliyetlerinde artışlara yol açabilmektedir (Dervitsiotis, 1981, s. 693).

Bilim ve teknoloji üzerine kurulmuş olan her disiplinde olduğu gibi bakım bilimi de bakımın tanımı ile başlamaktadır. Bakım tanımının ne olduğu o kadar yanlış yorumlanır ki belki de bu yüzden ilk önce bakımın ne olmadığının tanımlanması daha doğru olacaktır. Önemli bir bileşeni olmasına karşın bakım yalnızca koruyucu bakım demek değildir. En önemli fonksiyonlarından biri olmasına karşın bakım yağlama demek veya baskın bir bakım faaliyeti olmamakla birlikte kırılan bir makine parçasının telaşlı bir biçimde tamir edilmesi demek de değildir.

Bakım, sistemleri veya makineleri faal vaziyette, arızasız çalışma durumunda tutmak veya arızalanan ekipmanları en kısa sürede faal konuma döndürmek için yapılan faaliyetleri içerir.

İşletme faaliyetlerinin kesintisiz olarak sürdürülebilmesi için, beklenmeyen arızaları ve olası şikayetleri mümkün olduğu kadar kontrol altına alabilmek ve işletmenin iyi durumda devamını sağlamak için yapılan işlem ve faaliyetler bakım kapsamına girer. Kısaca bakımın hedefi, üretim ekipmanının çalışma etkinliğini maksimum yapmak şeklinde tanımlanabilir (Birmeç, 1998, s.1).

### **1.3. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Kapsamı**

Bir üretim sisteminde TB faaliyetlerinin kapsamı arızalı ekipmanı onarmaktan ekipman durumunu izlemeye, bakım kayıtlarını tutmaktan bakım faaliyetlerinin ve bakım personelinin çizelgelenmesine kadar çeşitli unsurları içermektedir.

İşletmelerde TB faaliyetleri çoğunlukla bakım departmanlarının kontrolü altındadır. TB departmanının görevi, işletmenin yapılarını ve alanlarını, üretim yapan teçhizatların ve çeşitli servislerin kullanılır halde olmasını sağlamak, onarımlarını yapmak, yönetimin koymuş olduğu standartlara göre yeterli bir seviyede korumak ve garanti altına almaktır. Bu departmanın temel fonksiyonu ise, işletmedeki planlama ve üretim departmanlarıyla işbirliği yaparak, TB planlarını hazırlamak, arızaların minimum zaman kaybı ile giderilmesini sağlamak ve bakım personelinin yönetilmesidir (Erciş, 1995, s. 62).

### **1.4. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Amacı**

Sistemde meydana gelen arızalar üretim veya hizmet sürecinin sekteye uğramasına, başka bir deyişle kayıp zamanların çoğalmasına neden olur. Seçilerek uygulanacak bakım faaliyetleri, sistemdeki arızaların sıklığını veya arızaların ciddiyetini azaltarak, en etkin ve verimli şekilde çalışmalarını hedeflemektedir. Bu sayede sistemden elde edilecek faydanın çoğaltılmasını sağlamaktadır (Taşkın, 2006, s. 26).

Başka bir ifadeyle TB faaliyetlerini üretimin aksamamasını veya bu aksamaların minimuma indirilmesini, kaynakların en iyi şekilde kullanılmasını, arıza oluşumlarının önlenmesini, TB faaliyetlerinin en kısa zamana indirgenmesini ve bu faaliyetlerin işletme içinde istenen etkinliğe ulaştırılmasını hedeflemiştir (Erciş, 1995, s. 8).

TB faaliyetlerinin amaçlarını aşağıdakiler gibi sıralayabiliriz (Erciş, 1995, s. 8):

- Malzeme ve bakım faaliyetleri nedeniyle üretken zaman ve maliyet kaybını en aza indirmek,
- İşletmenin yatırımlarını korumak, devamlılığını sağlamak,
- Üretim için optimum ekipmanı hazırlamak,
- TB'ı kabul edilir bir düzeye çıkarmak,
- Üretim teçhizatının çalışma düzeyini maksimum yapmak,

- İşletme varlıklarının periyodik bakımını ve kontrolünü yapmak, yıpranmasını önlemek,
- İşletme imkanlarının, aktiflerinin (tesis, makina ve teçhizat) faydalı ömrünü uzatmak ve hizmet süresini arttırmak,
- Yıpranmayı ve eskimeyi en düşük düzeye indirerek işletmenin değerlerini korumak,
- Makinalar ve donanımın üretim için emre hazır sürelerini en yüksek düzeyde tutmak,
- Arızaları asgari düzeye indirmek,
- Her işin zamanında gereği gibi yapılmasını sağlamak,
- İşletmelerde sürekli ve verimli çalışma ortamı sağlamak,
- Üretim giderlerini azaltarak maliyetleri düşürmek,
- Acil durumları, makinaların beklenmedik duruş ve bozulmalarını en az düzeye indirmek,
- Personelin güvenliğini sağlayarak, hedefleri yerine getirmek için yapılan çalışmalarda gerekli emniyeti arttırmak,
- İşletmedeki mevcut makina ve parçaların kalitesini yükseltmek,
- Üretilecek ürünün veya sunulacak hizmetin kalite düzeyini koruyacak veya arttıracak şekilde işletme imkanlarının elverişli ve tutarlı olmasını sağlamak,
- Sistemdeki bozulmaların anında giderilmesi amacı ile hızlı bir yenileme düzeni kurmak ve bunun için gerekli olan araç-gereçleri bulundurmak,
- Bozulma ve hasarların önüne geçilmesi amacıyla düzenli gözlem yapılması, kayıtlarının tutulması ve gerektiğinde kritik parçaların değiştirilmesi,
- Tüm bu faaliyetleri uzun dönemde en düşük maliyetle gerçekleştirmek.

### **1.5. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Üretime Etkisi**

Üretimin programlara uygun bir biçimde sürdürülmesi, üç temel üretim unsurundan birisi olan makine ve tesislerin aksamadan çalışmasına bağlıdır. Makinelerin belirli zamanlardaki bakımları ve beklenmedik zamanlarda ortaya çıkan arızaların giderilmesi, üretim akışını mümkün olduğu kadar aksatmadan yapılmalıdır (Kobu, 1998, s.268).

TB faaliyetlerinde üretimin aksamasını minimum düzeyde tutmak gerekli fakat yeterli değildir. Herhangi bir makinenin bakıma alınması diğer makinelerin boş kalmasına sebep oluyorsa kapasite kaybı var demektir. Çok makineli sistemlerde TB yüzünden kapasite kaybının önlenmesi ayrı bir sorundur. Diğer taraftan TB işlerini yürütecek insan gücünden yararlanma oranı da önemlidir. TB faaliyetlerinde belirsizlik bulunduğundan eldeki kısıtlı insan gücünden %100 randımanla yararlanmak mümkün değildir. Bu oranın yüksek tutulması TB faaliyetlerinin toplam maliyetinin düşürülmesi açısından önem taşır (Kobu, 1998, s.269).

TB faaliyetlerindeki aksaklıkların üretim akışı, verimlilik ve dolayısıyla maliyetler üzerindeki etkilerini şöyle özetleyebiliriz (Kobu, 1998, s.269):

- Makinelerin ve onları çalıştıran işçilerin boş kalmaları,
- Dolaylı işçilik ve imalat genel masraflarının artması,
- Müşteri taleplerinin karşılanamaması, satışlarda düşmeler,
- Aksaklığın meydana geldiği bölümle ilgisi bulunan diğer bölümlerdeki gecikme ve boş beklemler,
- Iskarta oranının artması, kalitenin düşmesi,
- Siparişlerin zamanında teslim edilememesi yüzünden müşteri kaybetme veya tazminat ödeme.

## 2. BÖLÜM

### TAMİR – BAKIM SİSTEMİNİN YAPISI

Herhangi bir sürecin yönetilebilir hale gelmesi için, onunla ilgili sistemin kurulması gerekmektedir. Örneğin, ürün kalitesini yönetmek istediğimizde, kalite yönetim sistemi, tesisin çevre ile olan etkilerini yönetmek istediğimizde çevre yönetim sistemi, bakım faaliyetlerini yönetmek istediğimizde bakım yönetim sistemi kurulması gerekmektedir. Eğer bir sistem kurulmazsa, bu konuya gösterilen önem kişiden kişiye değişecek, tesisten tesise farklılık gösterecek, yaşanan problemler sistematik bir şekilde üst yönetimin dikkatine gelmeyecektir. Dolayısıyla bakım yönetim sistemi kurulmadan, endüstriyel bir tesiste bakım faaliyetlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi ve yönlendirilmesi söz konusu olamayacaktır (EÜAŞ, 2007, s. 20-21).

Bakım yönetimi bir tesisin işlevselliğini garanti altına almak amacıyla gerçekleştirilen etkin planlama ve bu planların uygulanması sırasında gerçekleştirilen teknik, idari, yönetim ve denetim faaliyetlerinin bir bütünüdür. Bakım yönetimi çok farklı alt faaliyetlerden ve sorumluluklardan oluşmaktadır. Bunlar arasında bakım iş talimatlarının hazırlanması, bakım görevlerinin belirlenmesi, işi tamamlamak için kaynakların belirlenmesi ve bunların planlanması gibi birçok faaliyet bulunmaktadır. Maliyetlerin belirlenip bunlar için ödeneklerin sağlanması, doğru bütçelendirmelerin yapılması, arızaların analiz edilmesi gibi birçok önemli fonksiyonu içermektedir.

Örneğin: Bakım sürecinin bir sistem dahilinde yönetilebilir olması için en azından aşağıdaki şartların karşılanması gerekmektedir (EÜAŞ, 2007, s. 31):

- Şirketin bir vizyon ve misyona sahip olması, bakım ile ilgili ölçülebilir şirket amaç ve hedeflerinin belirlenmesi,
- Yapı içerisinde bakım ile ilgili yeterli ve uygun bir örgütsel yapının bulunması, görev ve sorumlulukların açık ve net bir şekilde belirlenmiş olması,
- Yeterli kaynakların zamanında sağlanmasını garanti altına alan destek süreçlerin bulunması,
- Ana bakım işlevlerinin belirlenmesi, politika ve prosedürlerinin oluşturulması, mevcut süreçlerin elden geçirilmesi, süreç yaklaşımının izlenmesi, süreçlerin geliştirilebilmeleri amacıyla sürekli etkinliklerinin değerlendirilmesi,



Bakım yönetim sistemi diğer örgütsel sistemler gibi şirketin örgütsel hafızasının bir parçası haline gelmeli, sürekli değişen, beslenen, adapte olan, genişleyen, değişik seviyelerde uygulanan bir özellik taşımalı, yaşayan bir sistem olmalıdır. Örgütsel hafızanın iki bileşeni bulunmaktadır bunlardan ilki bakım gereklerini belirlemek ve yerine getirmek için örgüt bünyesinde neler yapılması gerektiğini açıklayan dokümanlardır. İkinci bileşen ise bu sonuçların sağlanmasına yönelik gerekli bilgi ve beceriyi uygulayan ehil çalışanlardır (EÜAŞ, 2007, s. 33).

Ayrıca dokümanlarda açıklanan sistemin uygulanıp uygulanmadığını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen içi denetimler ve çalışmaların planlandığı gibi gerçekleştirildiğini kanıtlayan kayıtlardır. Tipik sistemin kurulma aşamaları bakım sistemi kurulumu için uyarlanarak şekilde verilmiştir. Bakım yönetim sisteminin kurulma aşamalarının da benzer bir süreçten geçeceği düşünülmektedir (EÜAŞ, 2007, s. 33).

İyi bir bakım yönetim sisteminde işi gerçekleştirmeye yönelik standart yöntemlerin belirlenip belgelendirilmesi gerekmektedir. Bakımı etkileyen süreçlerin belirlenmesi, bilinmesi ve etkinliklerinin garanti altına alınması için gözden geçirilmesi, izlenmesi ve sürekli iyileştirilmesi gerekmektedir (EÜAŞ, 2007, s. 33).

## **2.1. Bakım Fonksiyonunun Organizasyondaki Yeri ve Önemi**

Bir işletmede bakım hizmetlerini yürüten bölümün görevi; işletme yapı ve alanlarının donatımını ve onarımını, hizmet üreten ekipmanların ve çeşitli servislerin kullanılabilir halde olmasını yönetimin koymuş olduğu standartlara göre yeterli bir durumda korumak ve garanti altında tutmaktır. Bu aynı zamanda bakımın temel fonksiyonunu açıklamaktadır. Bakımın bir diğer amacını, mevcut kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını sağlayarak, makina ve ekipmanın istenilen düzeyde çalışmasını sağlamak olarak da tanımlayabiliriz.

Bir işletmede esas amaç, pazarlanabilecek ürünün imal edilip satılması ve kâr elde edilmesi olup ürün imaline veya hizmet sunumuna bağlı bir fonksiyondur. Yani ürün imali ve satışı sıfır ise karda sıfır olacaktır. İşletmenin ürün itibarıyla piyasada pazar payının yüksek olduğu zamanlarda mal ürettiği ve belli kalite ile belli fiyatlarda pazara sunduğu sırada ürün sayısında, kalitesinde veya satış maliyetlerinde bir değişiklik olduğunda rakip firmaların bu zayıflıktan faydalanıp pazar payını kapacakları açıktır. Bu zayıflığı meydana getiren ihtimaller işletmede, makina arızaları sonucu bekleme veya hizmet sunamama, teknolojik



eksiklik, TB bölümü ve diğer organizasyonların çatışması, beklenmedik arızaların sık sık olması gibi nedenlerden hangisine bağlı olduğu göz önüne alınmalı, önem derecesine göre sınıflandırma yapılmalı ve öncelikler tespit edilmelidir (Erciş, 1995, s. 1-2).

Günümüzde işletmelerde ne tür bir TB programına gereksinim olduğu, nasıl ve kimler tarafından yapılacağı tartışılmaktadır. Hatta kimi işletmelerde çalışma ekipleri hem ürünün imalini hem de kendi çalıştıkları teçhizatın bakımını üstlenmektedir. Üretimde çalışan personel sayısının azalmasına karşılık, TB işlemlerinde harcanan işçilik süresi artmaktadır. Tamamen otomatik bir işletmede dahi üretim personeli olmasa bile her zaman TB personeline ihtiyaç olacaktır (Erciş, 1995, s. 3).

## **2.2. Tamir – Bakım Sisteminin Tasarımı**

Bir işletmede gerekli zamanlarda gerekli müdahaleleri yapabilecek, firmanın çalışma performansını artıracak bir bakım sisteminin tasarımı için yapılması gereken işlemler (Kısmet, 2001, s. 12–3):

- Tüm kritik tesisler ve yedek parçalar belirlenir,
- Ekipman parçalarını, spesifikasyonlarını, geçmişini ve her bir maddenin özgün karakteristiklerini içeren bir ekipman kaydı hazırlanır,
- Ekipman çalışır durumdayken durumunun izlenebileceği bir tanı sistemi geliştirilir. Bu da bakım zamanlama, ölçüm yöntemleri, sinyal işleme teknikleri, istatistiksel analiz teknikleri, iki arıza arasındaki ortalama zaman, onarımlar ve hata analizi gibi birçok faktörün değerlendirilmesini içerir,
- İşletme gereksinimlerini karşılayabilmek amacıyla her bir ekipman için gerekli bakım türü ve sıklığı belirlenir. Bu belirleme tanı sonuçlarına göre yapılır,
- Toplam bakım maliyetini göz önünde bulundurarak bakım sistemi ekonomisi değerlendirilir. Örneğin koruyucu bakım için ayrılacak miktar, arıza bakımı ve koruyucu bakım maliyetleri dengelenerek bulunabilir. Aynı biçimde, arıza önleyici bakım değeri de tesisin duruş maliyeti ve arıza önleyici bakım maliyeti karşılaştırarak tanımlanabilir,
- Bozulmaların ve ekipman arızalarının önceden kestirilebilmesine yardımcı olacak bir planlama işlevini harekete geçirebilecek bir prosedür oluşturulur. Sorunun nedenini belirlemek için doğru işlemi veya uygun onarımı yapabilecek uzman kişilerden, parçalar, aletler, malzemeler ve işgücü beceri gereksinimlerini içeren bir havuz oluşturulur,

- TB işleri için uygun kişiler görevlendirilir ve bu işler çizelgelenir,
- Bir yedek parça yönetim sistemi tasarlanır; parçaların, aletlerin ve malzemelerin elde edilmesi için sistematik bir prosedür hazırlanır,
- Bakım planlarının gereklerini karşılayacak ve bakım faaliyetlerini uygun biçimde yerine getirecek personel oluşturulur,
- Yapılanları kaydetmek için bir bakım bilgi sistemi kurulur; tasarım, performans ve maliyet konusunda geri besleme sağlanır,
- Standartlara dayalı olarak bakım değerlendirmesinin yapılabilmesi için bir sistem oluşturulur. Çeşitli verimlilik indeksleri performansın değerlendirilmesinde kullanılabilir,
- Bakımda çalışan işgücünün becerilerinin geliştirilmesi ve motivasyonu için bir sistem kurulur.

Bir işletmenin elindeki kaynaklardan en iyi şekilde yararlanabilmesi için tesis ve donanımın en iyi şekilde korunması, TB sorunlarının çözümlenmesini gerektirir. Üretkenliği arttırmak, makine ve ekipman performansını korumak için ekonomik ve geçerli bir TB sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. TB sisteminin sadece tasarımı ile yetinmek işletme performansını tek başına arttırmaya yetmez, bunun yanında etkili bir TB sistemi oluşturabilmek ve sürdürülebilmek için aşağıdaki konuların analiz edilmesi, değerlendirilmesi ve gerekirse yeniden düzenlenmesi gerekmektedir (Kısmet, 2001, s.17–18):

- Arızaların neden olduğu makine duruşlarının önemi ve süresi, arızaların sebep olduğu duruşlardan kaynaklanan maliyetler, ürün teslim tarihlerine uyulmamasının oluşturduğu sorunlar, üretimi yeniden planlama sorunu,
- Acil veya planlı bakım faaliyetlerinin durumu,
- Planlı bakım ve yenileme devirleri,
- Bakım işlerinin planlanması,
- Bakım ekip ve ekipmanlarının durumu,
- Yedek parça tedarik şekil ve kaynakları,
- Yedek parça stok kontrol sistemleri,
- Katalog, yönerge, el kitaplarının durumu,
- Bakım faaliyetlerinin organizasyondaki yeri ve iç organizasyon yapısı,
- Bakım çalışmalarının performansı,
- Bakım faaliyetlerinin kayıt, kontrol ve izleme düzeni,
- Yatırım genişletme kararları ve yeni makinelerin alınması,
- TB faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli işgücü, malzeme ve donanım maliyetleri,

- TB faaliyetlerinin planlı ve etkinlikle uygulanamamasından kaynaklanan iş kazaları ve oluşan maliyetler,
- Yeterince TB yapılmamış tesis ve donanımla işlenen ürünlerin kalitelerindeki düzensizlik, iskarta oranları, üretim miktarındaki dalgalanmalar.

### **2.3. Tamir-Bakım Faaliyetlerinin İşletme İçindeki Yeri ve Önemi**

İşletmelerde tamir-bakımın asıl amacı, üretim/hizmet fonksiyonunu etkili kılmak ve üretimde sürekliliği sağlamaktır. Başka bir deyişle, iyi ve kaliteli bir ürün/hizmet, tam zamanında ve eksiksiz hizmet, meydana gelen arızalar sonucu planları aksatan bir ekipman, işletme bütünlüğü ve verimliliği gibi kavramlar ile birlikte rekabet edecek hizmet kalitesini etkileyen önemli bir unsurdur.

İşletmelerde ölçek büyüdükçe karmaşıklaşma, kontrol ve denetim mekanizmalarının konumu, tedarik sistemlerinin kontrolü zorlaşmakta ve planlı bir tamir-bakım programının uygulanmasını zorunlu hale getirmektedir. Başarılı bir hizmet planlaması için kontrol fonksiyonu ile son derece iyi düzenlenmiş bir pazarlama organizasyonu bile yeterli bir tamir-bakım uygulaması ile desteklenmediği müddetçe başarılı olamayacaktır (Erciş, 1995, s. 5).

Yakın zamana kadar, orta ve üst düzey-seviye yöneticileri tarafından bakım faaliyetlerinin ürün kalitesine, üretim maliyetlerine ve özellikle karlılığa olan etkileri göz ardı edilmektedir. Genel görüşleri “Bakımın kaçınılmaz bir yük olduğu” veya “Bakım maliyetlerini iyileştirebilecek hiçbir şey yoktur” şeklindedir (Moblely, 1990, s. 2).

Oysa artık gelişen teknoloji ve durum izleme ekipmanları sayesinde bakım faaliyetleri yönetilmesi kolaylaşmaktadır. Gereksiz bakımı azaltacak veya ortadan kaldıracak, kaçınılmaz makine hatalarını önleyebilecek ve bakım faaliyetlerinin karlılığa olan negatif etkisini azaltabilecek yetkin personel görevlendirilmesi sıkça tercih edilmektedir (Moblely, 1990, s. 2).

İşletmeler genellikle makinaların arızalanması ve hizmetin durması, aksaması haline tamir-bakım ihtiyacı hissederler. Oysa ileri görüşlü bir işletme yöneticisinin böyle bir duruma gelmeden planlı bir tamir-bakım sisteminin kurulması yönünde çaba göstermesi gerekmektedir. Çünkü planlı bir TB uzun dönemde toplam hizmet maliyetlerini azaltıcı faydaya sahiptir. Daha yüksek verim, düşük işletme maliyeti, düşük müşteri şikayetleri,

personelin etkin kullanılması, hizmetin kesintiye uğramaması ve güvenilir olması önceden yapılan tamir-bakım planlamasına bağlıdır (Erciş, 1995, s. 5–6).

#### **2.4. Tamir – Bakım Fonksiyonunun Diğer İşletme Fonksiyonlarıyla İlişkisi**

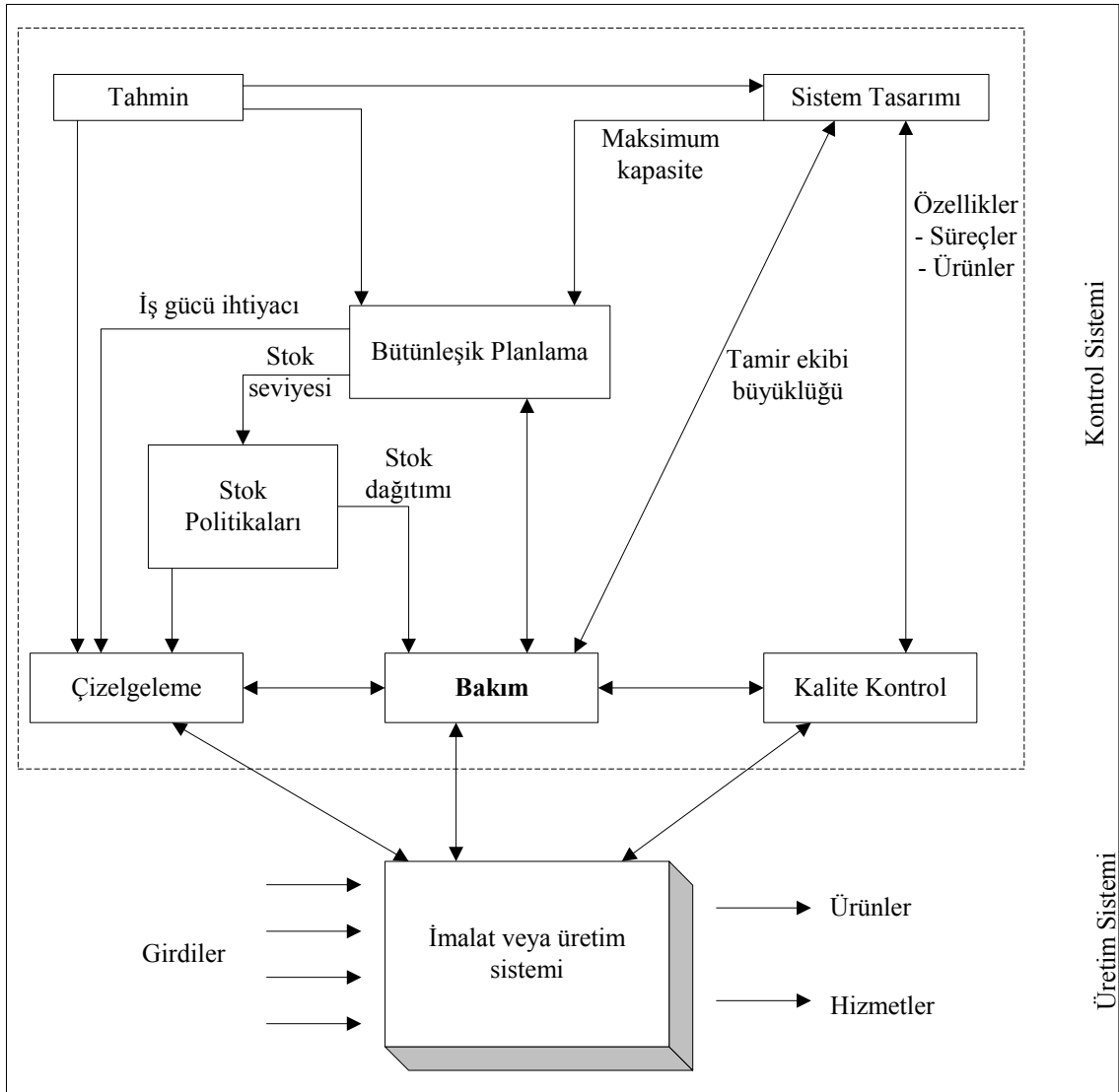
Bakım politikasının seçimiyle ilgili kararlar süreç tasarımındaki kararlarla kısıtlanmış olup üretim çizelgeleme, kalite kontrol ve stokla ilgili kararlarla çatışmaktadır. Şekil 2.2’de bakım fonksiyonunun diğer karar alanlarıyla olan ilişkileri gösterilmiştir. Üretim yönetimince alınan kararlar ile bakım fonksiyonu kararları arasındaki kesişmeler karşılıklı ödünleşmelerle çözümlenebilecek çatışmalara yol açar. Bu çatışmalar (Dervitsiotis, 1981, s. 695):

##### *1. Kısa vadeli*

- a) Bakım ve üretim çizelgeleme arasındaki ödünleşmeler bunların politikaları arasındaki çatışmalardan oluşur. Bakım genellikle önleyici bakım faaliyetleri aracılığıyla üretimin arasına girerek tamir süresini en aza indirmeyi amaçlar. Üretim çizelgeleme ise üretim süresini uzatarak en iyi çalışma süresini yakalamayı hedeflerken bu hata oluşma olasılığını arttırmaktadır.
- b) Bakım ve toplu planlama arasındaki çatışma, bakımın stokları çalışma sahasına yayarak önleyici bakımı daha kolay ve düşük maliyetli hale getirmek istemesi ile planlamanın en düşük üretim maliyeti için stokları düşük tutmayı hedeflemesinden ortaya çıkar.

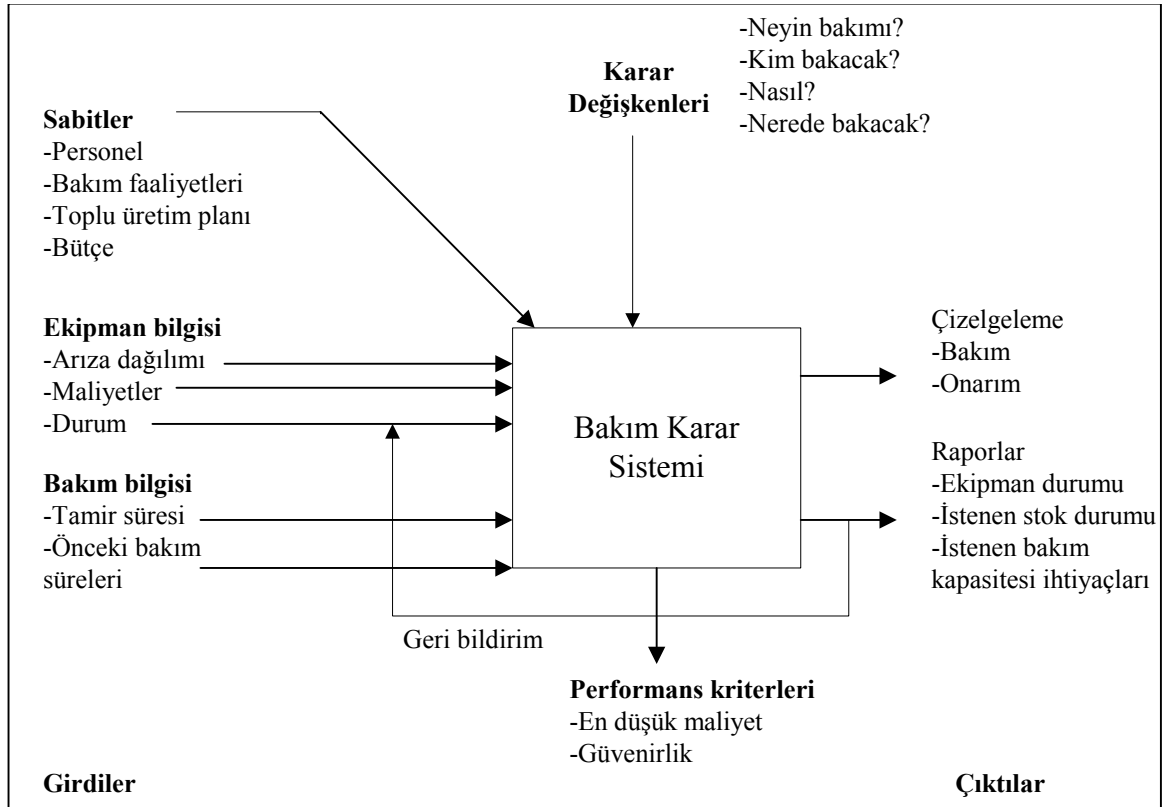
##### *2. Uzun vadeli*

- a) Bakım ve kalite kontrol arasında, önleyici bakım için en uygun aralığın tespiti ile ürün kalitesinde izin verilen kötüleşmeden dolayı çıkar çatışması vardır.
- b) Genellikle bakım ve sistem tasarımı arasındaki anlaşmazlıklar bakım personeli sayısından ortaya çıkar. Temel hedef boşta bekleyen personel süresi ile tamir ihtiyacı olan ekipmanın bekleme maliyetleri arasındaki dengeyi sağlamaktır.



Şekil 2.2. Bakım fonksiyonunun diğer karar alanlarıyla etkileşimi (Dervitsiotis, 1981, s. 695)

## 2.5. Bakım Karar Destek Sistemi



Şekil 2.3. Bakım karar sistemi (Dervitsiotis, 1981, s. 696)

Bakım karar destek sistemi işleyiş şeması şekil 2.3'te görülmektedir.

### 2.5.1. Karar Değişkenleri

Başarılı bir bakım politikası öncelikle aşağıdaki sorulara çözüm bulmalıdır:

1. Neyin bakımı yapılacak?
2. Bakım nasıl gerçekleştirilecek?
3. Bakımı kim gerçekleştirecek?
4. Bakım nerede yapılacak?

#### 2.5.1.1. Neyin Bakımı Yapılacak?

Bir üretim sistemi genellikle tezgahlar, süreçler ve insan-makine sistemleri gibi pek çok farklı unsurlardan oluşur. Farklı yıpranma ve hata durumlarına sahip oldukları için, tek bir

parça veya benzer özellikli parçalardan oluşan bir grup için seçilecek bakım politikası arzu edilen sistem güvenilirliğine ulaşabilmeye farklı katkılar sağlar (Dervitsiotis, 1981, s. 697).

Burada dikkat edilmesi gereken nokta geçmiş veriler ışığında, toplam sistem etkinliğine ve üretim maliyetlerine olan etkileri ışığında en doğru parçaların seçilmesi ve gerekirse benzer özellikli parçaların bakım için gruplanmasıdır.

#### **2.5.1.2. Bakım Nasıl Gerçekleştirilecek?**

Bakım için parçaların seçiminden sonra bakımın nasıl gerçekleştirileceği sorusu ile karşılaşırız. Farklı parçaların farklı hata olasılıkları, onarım/tamir süreleri ve maliyetleri olabileceği için en uygun bakım stratejisinin veya muayene aralığının tespiti önem kazanmaktadır (Dervitsiotis, 1981, s. 699).

#### **2.5.1.3. Bakımı Kim Gerçekleştirecek?**

Kullanılan üretim sürecine ve bakım servisi ihtiyacına bağlı olarak bakım fonksiyonu organizasyon içi veya dışı olabilir. Bu genellikle ekonomik bir seçimdir. Basit teknoloji kullanan atölye tipi üretimlerde firma içi bakım avantajlı olabilirken; tıbbi cihazlar, enerji tesisleri gibi yüksek teknolojili sistemler kullanan işletmelerde cihazın tedarikçisinden alınan uzman bakım desteği firma içi bakım faaliyetlerinden daha ekonomik olabilmektedir.

Bakıma olan talep yoğun veya kısa aralıklı ise firma içi bakım komplike üretim teknolojisine rağmen daha avantajlı olabilecektir. Uçak bakımlarını bu kategoride inceleyebiliriz (Dervitsiotis, 1981, s. 700).

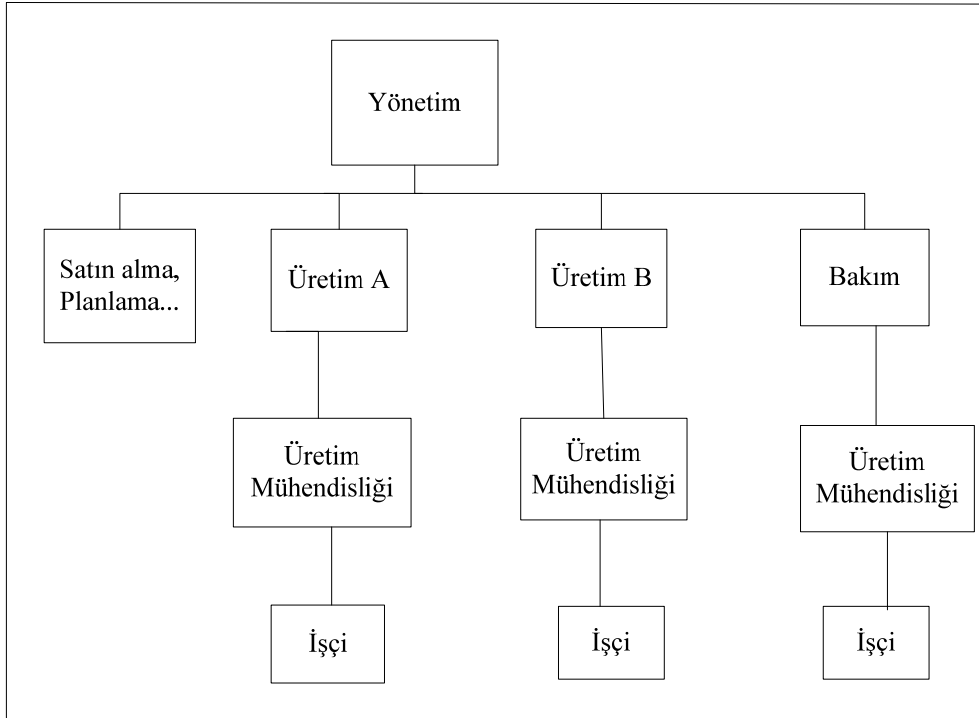
#### **2.5.1.4. Bakım Nerede Yapılacak?**

Bakım işgücünün ve çizelgelemesinin konumlandırılması da oldukça önemlidir. Firma içi bakımı tercih ettiğimizi varsayarsak, bakımı merkezleştirilmesi veya dağıtılması önem kazanır. Cevap bakım hizmetine duyulan talep seviyesine, bakım personelinin uzmanlık seviyesine, hatalara cevap verebilme hızı gibi farklı sorularda saklıdır. Merkezi bakım organizasyonunda tüm çalışanlar oluşan sorunları iş dağılımı için bakım merkezine haber verirler. Tüm iş ihtiyaçları çizelgeleme ve dağıtım için bu merkezde toplanır. Bakım organizasyonu daha fazla bürokratikleşecektir. Bakım faaliyetlerinin merkezleştirilmesi

bakım personelinden ve ekipmanlarından daha yüksek oranda faydalanabilmeyi, TB maliyetlerinin daha iyi görünmesini, kaynakların tekrar dağıtımının daha kolay yapılmasını sağlarken hatalara daha uzun sürede cevap verme ve daha fazla bozta kalma süreleri gibi olumsuzlukları da taşımaktadır (Dervitsiotis, 1981, s. 700). Merkezileşmenin derecesine etki eden faktörler (Erciş, 1995, s. 57):

- Firmanın büyüklüğü, işçi sayısı, işçi devri vb.,
- Firmanın prensiplerine göre organizasyonun ve sorumlulukların bölünmesi,
- Coğrafi uzaklıklar,
- Üretim tipi,
- Vardiya çalışma,
- Taşeron kullanma imkanı,
- Üretim ve bakım ücretleri,
- Üretim ve makina türleri,
- Bölümler arası uzaklık,
- Ücret politikaları,
- İşgücü sağlanması.

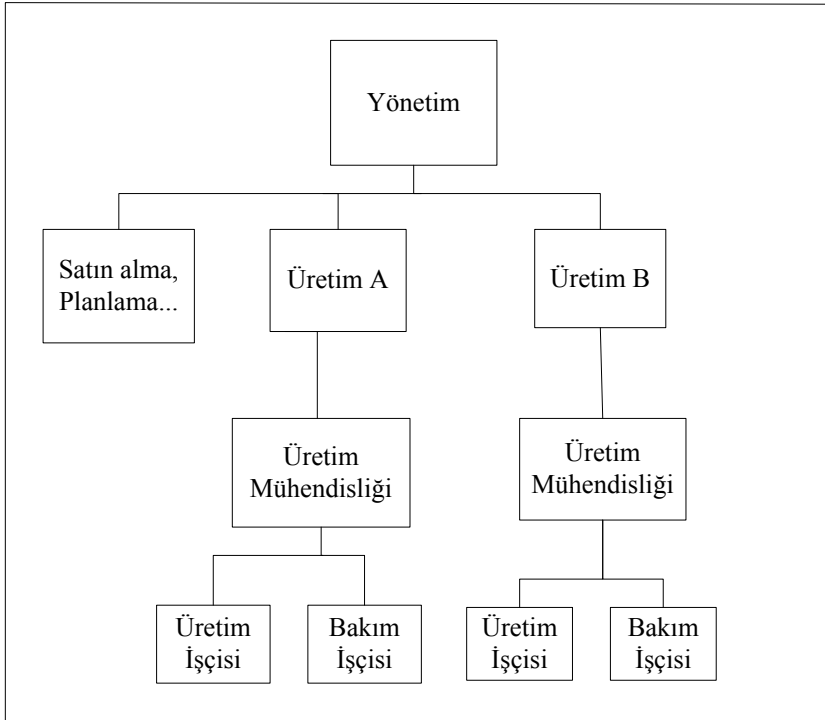
Örnek bir organizasyon yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Merkezi bakım organizasyonu (Erciş, 1995, s. 56)



Merkezi olmayan veya alan bakımında bakım yöneticileri ve organizasyonu fabrika içinde dağılmışlardır. Her bir bölüme sadece o alanda çalışacak personel temin edilir. Merkezi olmayan bakımın avantajlarını ise TB'nin üretime daha fazla yönelik olması ve TB ihtiyaçlarının ve kaynakları arasındaki bağların daha iyi hissedilmesi olarak özetlenebilir. Örnek bir organizasyon yapısı Şekil 2.5'te verilmiştir (Erciş, 1995, s. 58).



Şekil 2.5. Merkezi olmayan bakım organizasyonu (Erciş, 1995, s. 58)

Kimi durumlarda her iki yöntemi birleştiren karma bir yaklaşım kullanılabilir. Böyle bir durumda kritik ekipmanların yakınlarına küçük bakım ekipleri yerleştirilirken ana bakım grubu merkezi bir yerde toplanabilir. Farklı bir yaklaşımda ise operatörler kullandıkları ekipmanların düzenli bakımından, temizliğinden sorumlu olurken daha ciddi problemler için bakım personelinden yardım istenebilir (Paz ve Leigh, 1993, s. 50).

Bakım politikasını etkileyen tüm değişkenler içerisinde *ne*, *kim* ve *ne zaman* üretim sisteminin tasarımı aşamasında göz önüne alınmalıdır. Bunlar üretim hacmindeki ve imalat tekniğindeki değişimlerle birlikte periyodik olarak gözden geçirilmelidirler. *Nasıl* kısmında toplu planlama ve üretim çizelgelemenin fonksiyonu olarak daha kolay değişiklikler yapılabilir (Dervitsiotis, 1981, s. 700).

Bakım kararlarının alınabilmesi için ayrıca aşağıdaki konulara dikkat etmek gerekmektedir (Birmeç, 1998, s. 6–7):

1 – Entegre veya ayrı sistemler: Bir aracın, üretim akışına entegre edilebilmesi hassasiyeti, yapılabilecek bakım kapsamını tayin eden önemli bir faktördür. Örneğin, bir ekipman sisteme entegre edilebilirse tüm sistemin çalışır halde olabilmesi için bu ekipmanın faal bir durumda tutulması ve sürekli bakıma alınması büyük önem taşır.

2 – Gözlenebilir bozulmalara karşın gözlenemez bozulmalar: Muhtemel bakım stratejisini tayin eden faktörlerin başında, bakımı yapılacak ekipmanın özellikleri gelir. Bir makinenin hareketini sağlayan parçaların muayenesi ile ekipmanın bozulma derecesini belirlemek mümkündür. Bu sayede basit muayene veya ölçme ile ekipmanın bozulma derecesi tespit edilebilir, aracın ne kadar bir zaman daha bu şartlar altında çalışabileceği tahmin edilebilir. Ayrıca bu ekipmanlarla ilgili olarak bir bakım yada herhangi bir yenileme için yeterli karar verme süresi vardır.

3 – Sürekli faaliyete karşın, kesikli faaliyetli araçlar ve sürekli hazırlık: Sürekli faaliyet ve hazırlık, bakım problemlerinin en zorlarını teşkil eden iki uç durumdur. Birinci durumda bakım yapılabilmesi için faaliyetin geçici bir süre durdurulması gerekmektedir. Bu durumda üretim/hizmet aksayacaktır. İkinci durumda ise, faal olma sürekliliğinin tespiti için bazı muayeneler yapılacak ve bu sırada sistemin ya da amacın muayeneye konu olan parçaları yıpranacaktır. Üretim akışını kesintiye uğratmadan yapılabilecek bakımlar kolay ve düşük maliyetlidir.

4 – Faal durumdaki bakımla, faaliyet devresi dışı bakım: Bir aracın bakımı; araç faaliyette iken mümkünse herhangi bir planlamaya gerek yoktur. Buna karşın herhangi bir sistemin bakımının yapılabilmesi için üretim akışını durdurmak gerekebilir. Bu tür bakımlar için optimum kabul edilebilecek bakım plan ve programlarının hazırlanması gereklidir.

### 2.5.2. Bakım Sistemi Çıktıları

Bakım sisteminin olağan çıktıları (Dervitsiotis, 1981, s. 701):

1. Seçilen politikaların gerçekleştirilmesi için çizelgeleme
  - a) Muayeneler için ekipman durumu
  - b) Tamir faaliyetleri için önceliklerin, gereken alet veya uzmanlığın belirlenmesi
  - c) Bakım periyotları
  
2. Raporlar
  - a) Muayene, bakım veya tamirden sonra ekipmanın durumu
  - b) Planlı bakım faaliyetleri için ekipman veya yedek parça istemi
  - c) Bakım kapasitesi için işçilik ve yetkinlik ihtiyaçlarının tespiti

Tüm bu çıktılarından ne kadarının elde edilebileceği bakım bilgi sisteminin kalitesine bağlıdır. Bilgisayar destekli bilgi sistemleri bakım faaliyetlerinin analizinde ve yorumlanmasında oldukça avantaj sağlamaktadırlar.

### 2.5.3. Bakım Sistemi Bilgi Girdileri

İyi bir bakım modellemesi için doğru ve yeterli miktarda veri gereksinimi vardır. İşletmelerde bakım ve üretimle ilgili çeşitli fiziksel ve ekonomik verilerden hangilerinin modele katılacağı önem kazanmaktadır. Bu açıdan kullanılabilir fiziksel ve ekonomik verilere aşağıda gösterilmiştir (Dervitsiotis, 1981, s. 701):

- Tamir ve bakım süreleri,
- Arıza oluşum süreleri ve olasılık dağılımı,
- Tamir ve bakım prosedürleri,
- Planlı muayene ve bakım maliyetleri,
- İşçilik, yedek parça maliyetleri,
- Üretim durmasının maliyetleri,
- Bakım personeli sayısı.

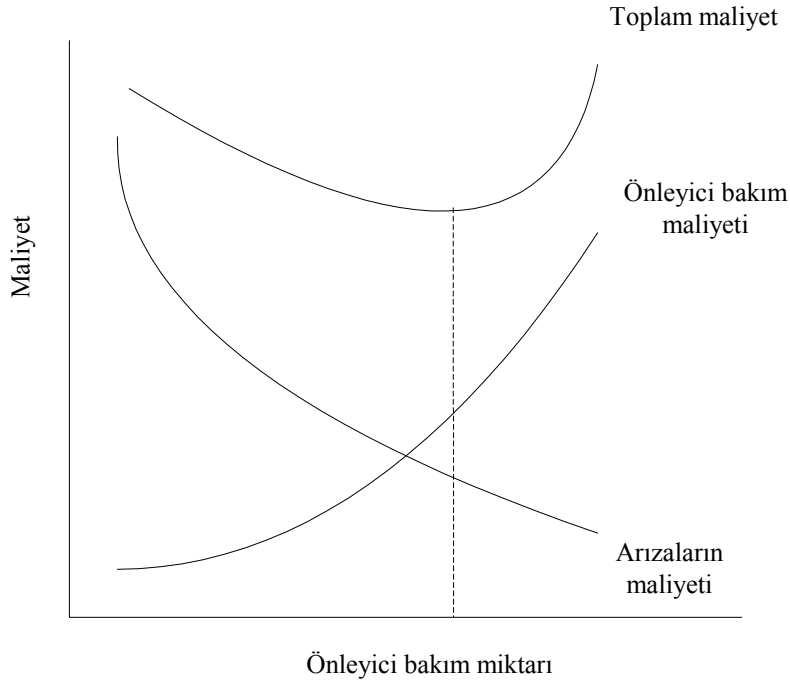
#### 2.5.4. Bakım Sistemi Kısıtları

Bakım sistemi tasarımı sırasında ele alınan alternatifler farklı kısıtlarla karşı karşıyadırlar. Uygulaması uzun süre isteyebilecek alternatifler (*ne, kim, nerede*) üretim sisteminin tasarımı, üretim teknolojisi, fabrika yerleşimi, bakım sistemi için ayrılacak kapasite veya işgücü gibi farklı kısıtlara maruz kalabilirler. Bu faktörler ayrıca *nasıl* bakış açısını da teknolojik yeterlilik olarak sınırlandırır. Toplu planlama ve sermaye-bütçesi kararları bakım personeli sayısından *nasıl* yaklaşımını kısıtlarlar (Dervitsiotis, 1981, s. 701–2).

#### 2.5.5. Bakım Sisteminin Performans Ölçütleri

Bakım sistemi üretim sistemini, ekonomik ve başarılı çalışabilmesi için desteklemektedir. Dolayısıyla bakım maliyetleriyle ilgili farklı politikaların üretimin güvenilirliği üzerinde etkileri de farklı olacaktır.

Hangi parçanın kim tarafından ve nerede bakılacağına uzun-dönemli karar verileceğine, kısa dönemde ise en uygun bakım politikasının önleyici bakım ve acil tamir arasından seçileceği varsayılır. Bu seçeneklerin bakım maliyetleri şekil 2.6'dadır. Önleyici bakım faaliyetlerinin olmadığı veya düşük olduğu seviyelerde toplam bakım maliyetinin arıza tamirleriyle ilişkili olduğu aşikârdır. Önleyici bakım oranını arttırdıkça, arıza maliyetleri önleyici bakım maliyetlerindeki artıştan daha hızlı düşer, dolayısıyla toplam maliyet azalır. Bu en uygun önleyici bakım noktasına kadar devam eder. Bu noktadan itibaren, arıza tamir maliyetlerindeki azalma önleyici bakım maliyetlerindeki artışı karşılayacak oranda değildir yani toplam bakım maliyetleri artış gösterir (Dervitsiotis, 1981, s. 702–3).



Şekil 2.6. Bakım alternatiflerinin maliyet ilişkileri (Dervitsiotis, 1981, s. 703)

Performans ölçümünde kullanılan bazı göstergeleri kısaca açıklarsak (Duffuaa vd., 1999, s.244):

- Kullanılabilirlik: Ekipmandan faydalanılan zamanın toplam zamanı oranıdır.

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{\text{Toplam süre} - \text{Çalışmama süresi}}{\text{Toplam süre}}$$

- Güvenirlilik: Hata sıklığının ölçüsüdür ve çalışma süresi ile hata sayısı arasındaki orandır.
- Genel ekipman etkinliği: Kullanılabilirlik, üretim oranı ve kalite oranlarının çarpımıdır. Üretimle ilgili pek çok fonksiyonu içerdiği için fonksiyonlar arası bir ölçümdür.

## 2.6. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Önemini Arttıran Sebepler

İşletmelerde tamir-bakımın önemini arttıran sebepleri üç grupta toplayabiliriz (Erciş, 1995, s. 8):

### Teknik Sebepler

- Mekanikleşme ve otomatikleşmenin artması sebebiyle üretim araçlarının hassas ve daha karmaşık hale gelmesi,
- Çalışma hızının yükselmesi, müşteri isteklerinin artması ve bu isteklere cevap verme zorunluluğu,
- Hizmet araçlarının birbirine zincirleme bağıllığının artmış olması.

### Ekonomik Sebepler

- Artan arızalar ve bu arızalardan dolayı ekipmanların boş durma maliyetlerinin artması,
- Ücretlerdeki artış,
- Şikayetlerin artması sonucu müşteri memnuniyetinin azalması,
- Üretilen mamulün zamanında teslim edilememesi, işlemlerde ortaya çıkan kesintilerin sonucu olabilir. Bu yüzden gecikmeler satışların düşmesine yol açabilir,
- Plansız bakım hizmetleri yedek parça stoklarının yüksek olmasına yol açar. Sistemli bir tamir-bakım ile gereksiz yedek parça stoku ortadan kaldırılır.

### Diğer Sebepler

- Tamir-bakım uzman personelinin eksikliği,
- Emniyet ve güvenlik ihtiyacının artması,
- Çevre koruma faktörünün önem kazanması.

## 2.7. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Sınıflandırılması

Rekabetçi ortamda performanslarını yükseltmek isteyen pek çok firma kalite ve üretkenliklerini arttırmak ve maliyetlerini düşürmek için çalışmaktadır. Aynı zamanda pek çok firmaysa bakım fonksiyonu faaliyetlerini daha sıkı bir şekilde incelemeye başlamıştır. Etkili bir bakım; ekipman ömrünü uzattığı, ekipman kullanılabilirliğini arttırdığı ve ekipmanı

uygun koşullarda tuttuğundan dolayı bir çok operasyon için oldukça kritiktir. Yanlış ayarlanmış veya arızalı bir ekipman hataya ve kalitesi sorgulanabilecek ürünlere neden olabilir. Son olarak, kötü bakım kısa kullanım ömründen dolayı ekipmanın daha sık değiştirilmesine yol açar (Swanson, 2001, s. 237).

TB faaliyetlerini sınıflandırılmasını makinenin arızalanmasından önce yapılan ve arıza oluşmasını önlemeye çalışan bakım faaliyetleri ile arızalandıktan sonra ekipmanı onarıp çalışır hale döndürmeye yönelik tamir faaliyetleri olarak iki ana gruba ayırabiliriz.

Onarım veya başka bir deyişle tamir, genel bakım çalışmalarının içerisinde yer alan bir kavramdır. Aslında tamir ve bakım birbirini tamamlayan iki fonksiyondur. Fakat ana fonksiyon bakımdır. Bakıma rağmen önlenemeyen arızalar onarım yoluyla giderilir. Genel olarak her makine arıza yapabilir, amaç arızaların en aza indirilmesidir.

Yapılış biçimleri göz önüne alınırsa, bakım faaliyetlerini planlı ve plansız bakım olarak iki ana gruba ayırabiliriz. Plansız bakım, başka bir ifadeyle tamir faaliyetleri, ekipman bozulduktan sonra yapılırken planlı bakım faaliyetleri ekipmanın çalışma durumunu izleyerek hataların oluşmadan önce önlemeye yoğunlaşırlar.

Pek çok yazar bakım yönetimi için farklı stratejiler belirlemiştir. Bateman (1995, s.19), üç temel bakım programı belirlemiştir. Bunlar reaktif, koruyucu ve önleyici bakımdır. Koruyucu ve önleyici bakımı ekipman bozulmalarını önlediği için proaktif strateji olarak gruplayabiliriz. Weil (1998, s.118) ise kendi programını geliştirip bu tanımlamaya TÜB(Toplam Üretken Bakım)'ı eklemiştir. TÜB'ı ekipman bozulmasını önlerken aynı zamanda da ekipman performansını geliştirmeyi hedefleyen saldırgan bir bakım yaklaşımı olarak tanımlayabiliriz. Son olarak da Güvenirlilik Tabanlı Bakımı ekleyebiliriz.

Geleneksel olarak pek çok firma reaktif bakım stratejisini yani makineyi sadece durduğu zaman tamir etmeyi tercih eder. Yakın zamanlarda, gelişen teknoloji ve bakım personelinin artan bilgi düzeyi bazı firmaları bu reaktif stratejiyi terk etmelerine yol açmıştır. Proaktif bakım stratejisinde ekipmanda oluşacak hataları önlemek için koruyucu ve önleyici bakımdan faydalanır. Saldırgan strateji ise, toplam verimli bakım gibi, üretim ekipmanın kullanımını ve tasarımını geliştirmeye odaklanır. Bu yeni stratejiler bir yandan eğitim, kaynaklar ve katılımçılık gibi daha çok sorumluluk isterken bir taraftan da daha yüksek ekipman ve işletme performansı sağlamaktadır (Swanson, 2001, s. 237).

### 2.7.1. Reaktif Bakım

Düzeltilici bakım olarak da bilinir (Duffuo vd., 1999, s.5). Plansız bir bakımdır. Reaktif bakımı yangınla mücadeleye benzetebiliriz. Ekipmanların bozuluncaya kadar çalışmalarına izin verilir. Ancak ondan sonra bozulan ekipman tamir edilir veya değiştirilir. Bir diğer deyişle bozuluncaya kadar çalışsın stratejisi de denebilir (Paz ve Leigh, 1994, s. 49).

Herhangi bir bozulma olduğu zaman reaktif bakım takımı hızlı bir şekilde hareket etmek ve aksaklığın üretim sistemi üzerindeki etkisini en küçükmeye yönelik kararları hızlı bir şekilde vermek zorundadır. Bakım personelinin görevleri makinelere küçük ayarlar yapmaktan kayıpları önleyerek sistemi tekrar eski çalışır haline getirmek şeklinde değişebilir. Reaktif bakımda, ekipmanı tekrar çalışır hale getirecek geçici küçük bakımlar yapılabilir fakat kalıcı büyük bakımlar genellikle hep bir sonraki zamana ertelenir (Gallimore ve Penlesky, 1988, s. 16).

Reaktif bakım bir işletmeye ekipmanları çalışır halde tutmak için harcanması gereken işgücü ve zamanı en alt seviyede tutmaya imkân tanır. Fakat bu yöntemin sakıncalarını tahmin edilemeyen ve dalgalı üretim kapasitesi, daha yüksek seviyelerde tolerans dışı ve kusurlu ürün ile yıkıcı hataları tamir etmek için artan genel bakım masrafları (Bateman, 1995, s.19), arızanın arızayı doğuracağından duruşlardaki artış, hangi parçanın arıza vereceği bilinmediğinden yedek parça stokundaki artış ve bakım ekibinin hazır olmamasından dolayı arızanın giderilmesi sırasındaki uzun duruşlar (USACERL, 1999, s.24) olarak özetleyebiliriz.

Sistemde geniş dönemlerde ortaya çıkan arızaların üzerinde incelemeler yapılarak bu tür arızaları giderecek bakımlara yönelik planlar hazırlanabilir. Bu planlar, planlı bakıma geçişte ilk adımı teşkil ederler (Erciş, 1995, s.72).

### 2.7.2. Proaktif Bakım

Bakım stratejilerinin tarihsel gelişiminde ikinci sırayı proaktif bakım stratejileri yani planlı bakım alır. Proaktif bakımda arızaların ekipman kötüleşmelerini izleyen faaliyetlerle ve ekipmanın uygun durumda kalmasının devamlılığına imkan sağlayan küçük tamirlerle önlenmeye çalışılır. Koruyucu ve önleyici bakımları içeren bu strateji ile beklenmedik ekipman bozulma olasılığı azaltılır (Swanson, 2001, s. 238).



Reaktif bakımdan proaktif bakıma geçiş bir işletmenin emir – komuta zincirindeki üst yönetimin katılımını gerektirir. Tam bir proaktif programın uygulanabilmesi aşamalı bir yaklaşımla daha kolay olabilmektedir. İdeal bir bakım programı hem önleyici hem de koruyucu bakımdan öğeleri içermelidir. Koruyucu bakımın büyük miktarda veriye ve işletmedeki makine bilgisine ihtiyaç duymasından dolayı başlangıç aşamasında uygulanması oldukça zordur. Bu yüzden her ne kadar makine bilgisine ihtiyaç duysa da neredeyse hiçbir geçmiş veriye gereksinimi olmayan önleyici bakımın proaktif bakım stratejisine geçişte ilk aşamalarda uygulanması daha uygun olmaktadır. Önleyici bakım aynı zamanda bir sonraki aşama olan koruyucu bakım için gereken verilerin toplanmasına da yardımcı olacaktır (Bateman, 1995, s. 19).

### **2.7.2.1. Önleyici Bakım**

Önleyici bakım kullanım tabanlı veya zaman tabanlı bakım olarak da bilinir. Belirli bir kullanım süresinden veya makine kullanım miktarından sonra ele alınan bakım faaliyetlerinin bir bileşkesidir. Bu sistem ekipmanın belirli zaman aralığında bozulacağı olasılığına dayanır. Yapılan faaliyetlere yağlama, parça değiştirme, temizleme ve ayar yapmayı örnek olarak verebiliriz. Üretim ekipmanları önleyici bakım sırasında aynı zamanda olası kötüleşmelere karşı da muayene edilirler (Swanson, 2001, s. 238).

Minimal tamir modelleri ve yenileme modelleri zaman tabanlı bakıma örneklerdir.

Önleyici bakım programlarının amacı ekipmanın bozulma veya hasar görme olasılığını azaltmak, kullanım ömrünü uzatmak, azalan arıza sıklığı sonucu toplam bakım masraflarını azaltmak, çalışanlar için sağlıklı bir çalışma ortamı yaratmak ve ekipmanı iyi çalışma durumunda, iyi ayarlanmış ve iyi hizmet görmüş şekilde tutarak üretim kalitesini arttırmaktır (Bateman, 1995, s. 19). Yöntemin sakıncasını ise bakımı yapabilmek için belirli aralıklarla üretimi durdurmak olarak özetleyebiliriz (Swanson, 2001, s. 238).

Önleyici bakım genel olarak, bir bileşenin bozulmasından önce tamir etmenin veya değiştirmenin daha ucuz olacağı felsefesine dayanır. Reaktif bakımda bir makinede bakım yapmak için arıza oluşuncaya kadar beklemenin sonucu, oluşan hatanın diğer bileşenleri de kapsayacak yıkıcı bir hatanın oluşmasına imkan verecek katastrofik hata olmasıdır. Reaktif bakım maliyetini arttıran unsurun bu yıkıcı hata olması sonucu önleyici bakım programlarıyla bakım maliyetlerini azaltma imkanı ortaya çıkmaktadır (Bateman, 1995, s. 19).

Önleyici bakımın etkili olabilmesi için önleyici bakım çizelgesinin hazırlanmış olması gereklidir. Bu çizelgede makine faaliyet türleri ve bu faaliyetlerin hangi sıklıklarla gerçekleştikleri kaydedilir. Fakat, yönetimin bu çizelgeyi güncel olarak tutulmasına yönelik herhangi bir tedbiri olmadığı sürece önleyici bakımdan istenen faydaların elde edilmesi zorlaşacaktır (Bateman, 1995, s. 19). Başka bir deyişle bakım aralığı çok kısa olursa makine düzgün çalışırken bakım yapmak gerekir ki buda kaynak ve zamanın gereksiz yere kullanılması ve üretimin boş yere aksatılması demektir. Diğer yöndense bakım aralığının gerekenden uzun olması halinde ekipmanın herhangi bir ara zamanda bozulması durumunda bakım personeli hazırlıksız yakalanacak, aynı şekilde zaman kaybı ve üretim aksaması oluşacaktır (Weil, 1998, s. 119).

### 2.7.2.2. Koruyucu Bakım

Koruyucu bakıma *durum tabanlı önleyici bakımda* diyebiliriz (Duffuo vd., 1999, s.5). Bakım belirli ekipman durumuna karşılık olarak yapılır. Eğer sistem aşınması veya herhangi bir kontrol parametresi doğrudan ölçülebilir (titreşim analizi, aşınma izlemesi,...) bir sistem durumu ile güçlü korelasyona sahipse ve sistem sadece verilen bir eşik değerinden sonraki aşınmalarda arıza yapıyorsa, bu durumda bakım kararını yaş yerine sistemin aşınma durumuna göre vermek daha uygundur.

Muayene modelleri ve şok modelleri koruyucu bakıma örnek olarak verilebilirler.

Koruyucu bakımda ekipmanlardaki ısı, titreşim, gürültü, kirlilik ve paslanma gibi fiziksel durumlar çeşitli teşhis aletleri kullanılarak ölçülür ve her bir ekipman için temel performans limitleri hazırlanır. Bu göstergelerden herhangi birisi belirli bir seviyeye ulaştığı zaman, ekipmanı uygun seviye getirecek bakım faaliyetleri uygulanır. Başka bir deyişle ekipmanda olası bozulmayı oluşmadan önce önleyebiliriz. Önleyici bakımdan farklı olarak, ekipmanda sadece bozulmaya ilişkin doğrudan bir kanıt elde edildiği zaman ekipmanın çalışması durdurulur (Swanson, 2001, s. 238).

Önleyici bakımla koruyucu bakımı farklı bir şekilde de karşılaştırabiliriz. Önleyici bakımı ihtiyacı olsa da olmasa da bir arabanın yağını her 5.000 km.de bir değiştirmeye benzetebiliriz. Koruyucu bakım da ise belirli aralıklarla arabanın yağından numuneler alarak bu örneklerin karakteristiklerinde değişiklik olup olmadığını inceleriz. Böylelikle yağı tam olarak ne zaman

değiştirmemiz gerektiğini belirleyebiliriz. Oldukça etkili bir bakım yöntemi olmasının yanı sıra iyi durumdaki ekipmanı yani buradaki yağı değiştirmekten bizi alıkoyarak oluşacak bakım maliyetlerini de azaltmış olmaktadır (Eade, 1997, s. 68).

Koruyucu bakım önleyici bakım gibi ekipman bozulma olasılığını azalmasına imkan tanır. Önleyici bakıma göre üstün olan tarafı ise belirli zaman aralıkları geçtikten sonra değil de bakıma ihtiyacı tam olarak olduğu anda uygulanmasıdır (Swanson, 2001, s. 238). Makinelerin ömrü önceden yapılan düzenli müdahaleler ve ayarlamalar sonucu artarken tamir giderleri azalır. Düzenli bakım planlamaları sonucu yedek parça üzerindeki kontrol hakimiyeti artar ve stok seviyesini azaltma yoluyla tasarruf sağlanabilir, bakım giderlerinin aşırı olduğu kısımlar belirlenerek gerekli araştırmalar sonucu gereksiz işler veya yanlış uygulamalar düzeltilir (Erciş, 1995, s. 72).

### **2.7.3. Saldırgan Bakım**

Saldırgan bakım stratejisi ekipman hatasını önlemenin bir adım ötesidir. Daha iyi tasarım, kurulum, bakım prosedürleri, çizelgeleme ve ustalık ile bakım faaliyetlerini geliştirmek için reaktif, önleyici ve koruyucu bakımı birleştirir (USACERL, 1999, s. 30). Bu stratejide, toplam üretken bakım gibi, genel ekipman çalışmasını arttırmayı hedefler. Bu hedefe ulaşmak için bakım faaliyetlerinin içersine mevcut veya yeni ürün tasarımını geliştirme unsurlarını da ekleyebiliriz (Swanson, 2001, s.239). Gelişmiş araştırma ve düzeltici faaliyet tekniklerini kullanarak makinanın plansız arızalarını ortadan kaldırmayı hedefler başka bir deyişle arızaların hiçbir zaman olmayacak hale getirilmesidir (Erciş, 1995, s. 88).

Saldırgan bakım aşağıdaki özellikleri ile tanımlanır (USACERL , 1999, s. 30):

- Bakım ekibinden geri beslemeleri alarak geçmişteki tasarım hatalarının gelecekte tekrarlanmamasını sağlar,
- Bakım ve onu destekleyen fonksiyonları yaşam – ömrü bakış açısıyla görür. Bu bakış açısıyla uzun vadede çok para kaybetmektense kısa vadede ekipmanı kapatmayı göz önüne alır,
- Bakım prosedürlerini sürekli gözden geçirerek geliştirilmelerini ve uygunluklarını devam ettirmelerini hedefler.

### 2.7.3.1. Toplam Üretken Bakım

Toplam üretken bakım (TÜB) hızla değişen ve gelişen dünyada işletmelerin rakiplerinin biraz da olsa önüne geçebilmeleri için kullanmaları gereken, verimsizliklerini minimize eden, tezgah ve ekipman etkinliklerini arttıran, ekipman sorumluluğunu direkt olarak kullanan kişiye veren bir bakım yönetim sistemidir. Çıkış noktası toplam kalite yönetimidir. Yerleşmiş bir toplam kalite kültürü üzerine inşa edildiğinde gelişmeyi hızlandırır, verimsizlik kaynaklarını ortadan kaldırır (Karabulut, 1999, s. 1).

Daha önce de belirtildiği gibi; TÜB işletme bünyesindeki tüm çalışanların aktif takım bazlı katılımlarıyla, üretim sisteminin yaşam döngüsü boyunca ekipman ve üretim verimliliği kayıplarını belirleyip bunları ortadan kaldırarak üretim etkinliğini arttırmaya yönelik yapısal bir ekipman merkezli sürekli gelişim sürecidir. Tanımdan anlaşıldığı gibi ana unsurlar (Pomorski, 2004, s. 15):

- Yapısal sürekli geliştirme süreci,
- Optimize edilmiş ekipman etkinliği,
- Takım tabanlı geliştirme faaliyetleri,
- İşletme bünyesindeki her seviyeden çalışanın katılımı.

TÜB'in başlıca beş amacı vardır (Nakajima, 1988, s. 10):

1. Ekipman etkinliğinin en büyüklenmesini amaçlar,
2. Ekipmanın tüm yaşam aralığı için kusursuz bir üretken bakım sistemini amaçlar,
3. Çeşitli bölümlerin(mühendislik, üretim, bakım, kalite vb.) katılımını amaçlar,
4. Fabrika tabanındaki işçilerden üst yönetime kadar tüm çalışanların katılımını amaçlar,
5. Motivasyon yönetimi dahilinde üretken bakımın teşviki üzerine kurulur ve devamlılığı amaçlar.

Üretken bakım, güvenilirliği ve bakım kolaylığını sağlamak amacıyla bakım yapılabilirliği geliştirici teknikleri önleyici bakım teknikleriyle birlikte tasarım aşamasından ekipmanın kullanılamaz duruma gelinceye kadar geçen süreyi içerecek şekilde birleştiren bir bakım sistemidir.

TÜB'daki "Toplam"ın üç farklı anlamı vardır (Nakajima, 1988, s. 11):

- Toplam etkinlik; TÜB'in karlılık ve ekonomiklik amacını belirtir,
- Toplu bakım sistemi; bakım önlemini (tasarım aşamasında bakımı kolay olan ekipman geliştirilmesi) ve bakım yapılabilirliği (bakım kolaylığını sağlamak için her türlü ilave ve değişikliği) içerir,
- Küçük grup faaliyetleri ile otonom bakımı içeren tüm çalışanların toplam katılımı.

Operatör kendi makinesini dinlemeli, incelemeli, onu hissetmeli, koklamalı yani makinasını tanımalı, makinasına sahip çıkmalıdır. Bu şekilde üzerine daha çok sorumluluk alan, faaliyet ve yetki alanı genişleyen işçinin yaptığı iş monotonluktan kurtulacak ve işçi işinde daha mutlu olacaktır. Bununla beraber fabrika sahasında birbirine paralel başlayan ve eş zamanlı gelişen çok sayıda iyileştirme çabalarının getireceği maliyet azalışı ve kalitedeki artış gibi sonuçlar, firmanın pazardaki gücünü önemli ölçüde arttıracaktır. En son olarak da basit yağlamaların yapılması, gevşeyen cıvataların sıkılması gibi rutin, basit fakat zaman alıcı işler bakım gurubunun sorumluluğundan çıkarıldığı için bakım grubu, artan zamanda yeni makina ve büyük çapta iyileştirme projeleri gibi daha karmaşık işler üzerinde çalışabilecektir (Karabulut, 1999, s. 16).

### **2.7.3.2. Güvenirlik Tabanlı Bakım**

Saldırgan bakım Güvenirlik Tabanlı Bakımın mihenk taşıdır. Güvenirlik Tabanlı Bakım (GTB) bir bileşenin kullanıcının istediği biçimde çalışmasını sürdürebilmesini sağlaması için reaktif, önleyici, koruyucu ve saldırgan bakım tekniklerini ve stratejilerini birleştiren bir bakım yaklaşımıdır (USACERL, 1999, s. 14). Karşılanması gereken iki amacı vardır:

1. Bakım ihtiyaçlarının belirlenmesi,
2. Bunların olabildiğince ucuza karşılanması.

GTB küçük çok-disiplinli takımlar aracılığıyla ekipmanın çalışmasının ve bakımının devam ettirilmesini hedeflemektedir. Bu takımlar çeşitli kök-sebep analizi teknikleri kullanarak katastroofik veya kronik hataları ortadan kaldırmaya çalışmaktadır. Başarının sırrı tüm katılımcıların bu teknikler hakkında uygun eğitimleri almalarında ve eğitimlerin gerektiği zaman en uygun yerde kullanılmasına, yol gösterecek organizasyonel disiplinin ve süreçlerin sağlanmasında yatmaktadır. (Eti vd., 2006, s. 1171-1172).

GTB analizi aşağıdaki sorulara cevap arar (USACERL , 1999, s. 14):

- Sistem veya ekipman ne yapar?
- Hangi fonksiyonel hatalar oluşma eğiliminde?
- Bu hataların olası sonuçları nelerdir?
- Bu fonksiyonel hataları önlemek için neler yapılabilir?

GTB'ın prensipleri ise (USACERL, 1999, s. 14-15):

- Sistem fonksiyonelliğini devam ettirmeyi amaçlar,
- Sistem odaklılık,
- Güvenirlik esaslılık,
- Tasarım sınırlarını gözden geçirir,
- Öne emniyet sonra ekonomililik önemlidir,
- Hataları tatmin edilememiş durum olarak görür. Hata bir seçenek değildir,
- RCM faaliyetleri elle tutulabilir sonuçlar üretmelidir,
- Sürekli devam eden bir süreçtir.

GTB'ın hedefi, herhangi bir süreçteki kritik bileşeni tespit etmek ve onun için özel önleyici/düzeltici bakım stratejisini belirlemektir. Bir diğer strateji ise geçmişte oluşan hatalardan yola çıkarak kök-sebep hata analizi yapmaktır (Eti vd., 2006, s. 1171-1172).

### 3. BÖLÜM

#### TAMİR – BAKIM FAALİYETLERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

##### 3.1. Tamir-Bakım Faaliyetleri İçin Yöntem Tespiti

Bakım politikasının belirlenmesinde başlıca iki kriter esastır (Birmeç, 1998, s. 11):

1. Bozulma dağılımının bilinmesi, deterministik oluşu,
2. Bozulma dağılımının bilinmemesi, stokastik oluşu.

Bozulma dağılımının bilinmesi durumunda daha çok minimum ve maksimum tipli politikalar uygulanır. Dağılımlarla ilgili sınırların çizilebileceği durumlarda ise, bazı bakım yöntemleri tavsiye edilebilir. Bozulma dağılımı ile ilgili bilginin bilinip bilinmemesi durumuna göre bakım politikaları; adaptasyon, sırasal ve periyodik olmak üzere üçe ayrılır.

##### Adaptasyon Stratejileri

Zaman geçtikçe bozulma karakteristikleri ile ilgili yeni bilgiler toplanarak, mevcut stratejiler geliştirilir. Yeni durumlara uyarlamalar yapılır ve tamir-bakım stratejileri buna göre geliştirilir.

##### Sırasal Stratejiler

Tamir-bakımı yapılacak sistemin faydalı ömrü, bakım konjoktürüne kıyasla daha az ve bozulma dağılımı veya maliyet parametreleri zamanla değişmekte ise bu tür stratejiler daha uygundur. Bu durumda eskiden uygulanan tamir-bakım stratejilerinin yeni duruma uyarlanması yerine, eski tamir-bakım stratejisi terk edilerek yeni bir strateji saptanır. Sırasal stratejiler teknolojiadaki önemli gelişmelere uygulanılacak niteliktedir.

##### Periyodik Stratejiler

Bozulma karakteristiklerinin bilinmesi durumunda uygulanacak stratejilerdir. Bu stratejiler, optimal tamir-bakım aralıklarının alt yapıları olup, tamir-bakım işlemleri bir

defada ve sonra gelen tüm bakımlar için saptanır. Bu sayede tamir-bakım işlemi istikrarlı bir nitelik taşır.

Uygulamada özel bakım işlemleri ve stratejisi makinenin aşınma derecesine bağlı olarak belirlenir. Genellikle makineler üç halde bulunur (Birmeç, 1998, s. 11-12):

1. Tam çalışabilir durumda
2. Çalışabilir ancak bakıma muhtaç durumda
3. Çalışamaz durumda

Kısacası araçların bu durumları ve zaman itibarıyla kullanılma süreci sistemi de esas alınarak, ayrı ayrı bakım strateji türleri uygulanmakta olup bu stratejilerin plan ve programlanmasında markov zincirleri ve benzetim gibi çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır.

Genel olarak bakım optimizasyon modellerinin çözüm aşamalarını sıralarsak (Birmeç, 1998, s. 12):

Birinci aşamada, sorunun ortaya çıkması ve amacın saptanması söz konusudur. Sorunun ortaya çıkması bir karar değişkeninin hesaplanması gereğini ortaya çıkarır, amaç ise birim zamana düşen karı maksimum yapmak ve birim zaman için boş geçen zaman maliyetlerini minimuma indirmektir. Örneğin, bir makineyi ne zaman yenilemeli veya yenileme süresi ne olmalıdır gibi sorulara cevap aranır.

İkinci aşamada sistem bütünlüğü içinde modelin kurulabilmesi için gerekli kısıtlayıcı koşullar saptanır.

Üçüncü aşama modelin kurulması aşamasıdır. Değişkenler sembolleştirilerek aralarındaki ilişkiler matematiksel denklemlerle ifade edilir.

Dördüncü aşamada, model çözülür. Yöneylem araştırmasında kullanılan matematik programlama, dinamik programlama, benzetim, Markov zincirleri gibi teknikler kullanılabilir.



Son aşamada kurulan modelin denenmesi, varsa gerekli değişikliklerin yapılması, uygulamaya konması için modelin deneme ve duyarlılık analizlerinin yapılması işlemleri gerçekleştirilir.

### **3.2. Tamir – Bakım Faaliyetlerinin Sınıflandırılması**

TB faaliyetlerini; yapılan bakım işinin sonucuna göre, kullanılan bakım politikasına göre veya bakım politikasında kullanılan optimallik kriteri gibi çok çeşitli açılardan sınıflandırabiliriz.

#### **3.2.1. Bakım Derecesine Göre Sınıflandırma**

Pham ve Wang (1996, s. 426) bakım faaliyetlerini, bakımın sonucunda çalışma durumunda meydana gelen değişime göre dört gruba ayırmışlardır:

- Kusursuz tamir veya kusursuz bakım. Sistemin durumu bakım faaliyetinden sonra yeni-gibi-iyi durumuna döner. Bakımdan geçen sistemin ömür dağılımı aynıdır ve yıpranma durumu sıfıra döner,
- Minimal tamir veya minimal bakım. Ana hedefi sistemin durumunu hata oranını değiştirmeden çalışır duruma döndürmektir başka bir ifadeyle sistem hata oluşumundan hemen önceki duruma geri döner. Bakımdan geçen sistem kimi zaman eskisi-gibi-kötü olarak tanımlanır,
- Kusurlu tamir veya kusurlu bakım. Bakım faaliyetleri sonucunda sistemin yaşı veya sağlığı bakımdan önceki durumuna göre daha iyiye döner. En yaygın kullanılan yöntemde sistem  $p$  olasılığı ile kusursuz bakıma maruz kalırken  $1-p$  olasılığı ile minimal bakıma uğrar,
- Kötü tamir veya bakım. Bakım faaliyetleri sistemin sağlık durumunu bakım öncesi duruma göre kötüleştirir.

### 3.2.2. Bakım Politikasına Göre Sınıflandırma

Bakım modellerini politikalara göre dört ana grupta inceleyebiliriz: muayene modelleri, şok modelleri, minimal tamir politikaları ve yaş yenileme modelleri (Seward, 1998, s. 2–3).

Muayene modelleri sistem durumunu tespit etmek için ne zaman muayene yapılması gerektiğini belirlerler. Bu modelin varsayımı sistemin gerçek durumunu muayene etmeden anlayamayacağı ve hataların görülemeyeceğidir.

Gereğinden sık yapılan muayeneler ile sistem durumu daha etkili tespit edilebilir, fakat artan muayene sayısı ile orantı olarak muayene maliyetindeki artışlar ve muayeneler için üretimin sık sık kesintiye uğraması toplam bakım maliyetlerini arttırmaktadır. Diğer yandan muayeneler arası süre uzun olursa bu durumda da sistemdeki hataların tespit edilmesi zorlaşmakta sonucunda da kaçınılmaz hatalar ortaya çıkarak üretimde ciddi kayıplara ve maliyet artışlarına yol açabilmektedir. Sistem muayene maliyetleri ve sistemin belirli bir dönem boyunca arızalı kalması arasında bir denge kurulmalıdır. İkinci bir önemli karar ise muayeneden sonra ne gibi bir faaliyetin yapılması gerekliliğidir.

Şok modelleri sistemin gerçekleşen şoklardan dolayı yıprandığını ele alır. Her bir şok rasgele oluşmakta ve sistemde rasgele bir hasara yol açmaktadır. Hasar belirli bir eşik değerine ulaştığında sistem arızalanmaktadır. Bu türde politikaların çoğunda ulaşıldığında sistem yenileme kararının alınacağı bir limit değeri belirlenir. Sistemin durumu yıpranma seviyesiyle ifade edilir.

Minimal tamirde sistem çalışabilir duruma dönmekle birlikte hata oranı arızadan hemen öncekiyle aynı kalmaktadır. Hataların anında tespit edilebildiği düşünülmektedir. Bu modeldeki soru ne zaman minimal tamirin optimal olacağı ve ne zaman hasarlı bileşenin değiştirileceğidir.

Yenileme politikalarını 2 ana grupta inceleyebiliriz: yaş yenileme politikaları ve blok yenileme politikaları. Blok yenileme politikaları bileşeni önceden belirlenen sabit zaman aralıklarında yeniler. Yaş yenileme politikaları ise sistemin kaçınılmaz olarak hata riskini ortaya çıkaracak kritik çalışma yaşını belirler. Bileşen bu kritik yaşa yenilenir. Her iki politikada da bileşenin hatadan sonra hemen yenilediği varsayılır.

Yenileme modelleri sürekli gözlenen ve hataların anında tespit edilebildiği sistemlere uygulanırlar. Böyle durumlarda minimal tamir yapmak ve sistem hata oranını aynı bırakmak mümkün değildir. Ayrıca çalışan bir sistemi yenilemenin arızalı bir sistemi tamir etmekten daha düşük maliyetli olduğu esas alınmaktadır. Yaş yenileme modellerinde bakım aralığını sistemin yaşı belirlerken, blok yenileme modellerinde sabit zaman aralıklarında yenileme yapılır.

Yenileme modellerinde asıl sorun, çeşitli kısıtlayıcı şartlar altında ve optimum düzeyde bir çalıştırma oluşturmak için yenileme işleminin hangi sıklıkta ve ne zaman yapılmalı sorularında yatmaktadır (Birmeç, 1998, s. 12).

Farklı bir bakış açısıyla bakım politikalarını;

1. Arıza oluş sıklığını azaltmaya yönelik politikalar
2. Arızanın etkisini azaltmaya yönelik olan politikalar.

Çizelgelenmiş bir plan dahilinde yapılan bakım çalışmaları ile arıza oluş sıklığını azaltmaya yönelik politikalar koruyucu bakım politikaları olarak adlandırılır. Arızanın etkisini azaltmaya çalışan politikalar da ise sistem veya kaynaklarındaki çok ciddi sonuçları önlemek yada sistemin güvenliğini korumak için bakım çalışmaları yapılır ve düzeltici bakım veya tamir politikaları olarak bilinir (Karaoğlan vd., 2007, s. 182).

### **3.2.3. Optimallik Kriterine Göre Sınıflandırma**

Bakım çalışmalarını optimallik kriterlerine göre dört başlığa ayırabiliriz (Wang, 2002, s. 482):

1. Sistem bakım maliyet oranını minimize etmek
2. Sistem güvenilirliğini veya kullanılabilirliğini maksimize etmek
3. Sistem bakım maliyet oranını belirli sistem güvenilirliği değeri için minimize etmek
4. Sistem güvenilirliğini hedeflenen maliyet unsurları için maksimize etmek.

## Bakım Modelleri İle İlgili Literatür Taraması

Bu bölümde bakım faaliyetleriyle ilgili yapılan yayınlar içerisinde kullanılan çeşitli modeller tanıtılacaktır.

Kene ve Gharbi (1999)'da rasgele bozulma, tamir ve önleyici bakım faaliyetlerinin olduğu çok makineli bir üretim sistemi tasarlanmıştır. Problemin amacı toplam maliyeti minimize edecek makinelerin üretim ve önleyici bakım oranlarının tespit edilmesidir. Analitik formülasyon ve benzetim tabanlı istatistiksel araçların birleştirilmesiyle yaklaşık bir optimal kontrol politikası elde edilmiştir. Optimal kontrol politikası için, homojen olmayan markov süreci ele alınmıştır.

Tsai vd. (2001)'de yıpranan bileşenlere sahip bir sistemde periyodik ÖB incelenmiştir. Sistemin ÖB çizelgesini oluşturmada basit ÖB ve önleyici değiştirme olmak üzere iki faaliyet eş zamanlı olarak dikkate alınmıştır. Basit ÖB, yıpranan parçayı sayısal değerlendirme süreci sonucu, belirlenen gelişim faktörü doğrultusunda başlangıç durumunun belirli bir seviyesine döndürür. Önleyici değiştirme ise yaşanan parçayı yenisi ile değiştirir. Bu iki faaliyetin birleştirilmesi sonucu her bir bakım aşamasında 2 faaliyette dikkate alınmıştır. Bakımın güvenilirliğe ve hata oranına olan etkilerini değerlendirmek için gelişim faktörü değerlemesi ile ilişkili olacak biçimde yaş azaltma modeli kullanılmıştır.

Lin ve Wang(1996)'da makine performans analizini için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Etkili bir hata izleme ve teşhis aracı ile çalışan model sistemin karakteristiği, durumu ve gelişen trendleri tanımlanabilir. Çevrim içi makine hata izleme ve hata ciddiyeti tahmini için yapay sinir ağı ve gelişmiş titreşim izleme yöntemleri birlikte kullanılmıştır.

Chu vd. (1998)'de durumu bir değişkenin aldığı değere bağlı olan tek üniteli sistemler ele alınmıştır. Sistem arıza durumunda yenilenmekte fakat daha düşük bir maliyetle bakım kararı da alınabilmektedir. İlk önce soruna genel bakış açısıyla yaklaşıp optimal bakımın karakteristiği belirlenmiştir. Daha sonra iki ardışık dönem arasındaki olay geçişinin negatif üstel dağılım olduğu durum ele alınmıştır. Dinamik programlamaya dayanan koruyucu değiştirme modeli uygulanmıştır.

Yang ve Liu(1999)'da DC motor için Kalman filtreleri ile durum tahmini yapmaya dayanan koruyucu bakımına yönelik bir hata tahmin yöntemi incelenmiştir. Herhangi bir

durum değişkenini (örneğin motorun devir sayısı) izleyerek, yaşlanma hatalarının benzetimi için motorun çıkışına bağlanan üstel bir düşürücü kullanılmıştır. Hata zamanları Monte Carlo simülasyonu ile oluşturulmuş ve kalman filtreleri ile tahmin edilmişlerdir. Bir-adım-ötesi ve iki-adım-ötesi tahminler yapılmıştır. Her iki durum içinde oluşan hataların küçük olduğu ve bunların kabul edilebilir olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Marquez ve Heguedas(2002)'de sonlu zaman dönemi ve tamir edilebilir bir sistem için uygun bakım politikası seçiminde semi-markov olasılık karar sürecini kullanılmıştır. Sistemi 3 farklı model için (tam kapasitede çalışıyor-düzeltilici bakım, tam kapasitede çalışıyor-düzeltilici bakım-düşük kapasitede çalışıyor ve tam kapasitede çalışıyor-düzeltilici bakım-düşük kapasitede çalışıyor-önleyici bakım) ve ikişer farklı düzeltilici ve önleyici bakım alternatifi için maliyet minimizasyonunu amaçlayarak markov geçişleri ile optimal çözüm elde edilmiştir.

Sortrakul vd. (2005)'te literatürde ayrı ayrı ele alınan üretim çizelgelemesi ve önleyici bakım planlaması için bütünleşik bir model öne sürülmüştür. Tek bir makineyi ele alan model makine arızaları için Weibull dağılımını kullanmakta, makineye öncelikle minimal bakım uygulandığını ve ÖB'in cihazı yeni-gibi-iyi durumuna getirdiğini varsayılmıştır. ÖB'lar cihazı yeni-gibi-iyi durumuna döndürdüğü için süreç yenileme süreci olarak modellenir, yenileme noktaları ÖB aktivitelerinin tamamlanmaları olarak alınmaktadır. Minimal tamir yapıldığı için, yenileme sürecinin her bir çevrimindeki hata, homojen olmayan poisson süreci izlemektedir. Bütünleşik modelde optimal iş sıralama ve ÖB aralığı için genetik algoritma kullanılmıştır.

Cassady vd. (2001)'de seri olarak bağlı  $m$  sayıda bağımsız alt sistemden oluşan (her biri  $n$  tane bağımsız bileşen içeren) bir sistem kurgulanmıştır. Öncelikle bileşen ömürleri Weibull dağılımı takip ettiği ve karar verici için üç farklı bakım seçeneği – arızalı bileşen için minimal bakım, arızalı bileşenin değiştirilmesi ve çalışan bileşenin değiştirilmesi (ÖB) – olduğu varsayıldı. 1 – 0 programlaması ve doğrusal programlama modeli ile hangi bileşenin tamir edileceğine veya hangi bileşenin değiştirilmesi gerektiğine karar verilmeye çalışılmıştır.

Christer vd. (1998)'de metal ürünleri üreten bir firmadaki kilit öneme sahip ekipmanın planlı ÖB uygulaması gecikme zamanı kavramı kullanarak modellenmeye çalışılmıştır. Bir muayenede hatanın tespit edildiği ilk zaman ile bu hata için tamirin(arızanın) kaçınılmaz olduğu zamana kadar geçen süreye gecikme süresi denmektedir. Gecikme süresi kavramı 2 aşamalı bir stokastik süreçtir, birinci aşamada hata oluşur ve ikinci aşamada hata arızaya yol

açmaktadır. Gecikme süresinin dağılımını tespit etmek için gerekli bilgiler arızalar ve ÖB sırasında uygulanan anketler yoluyla bakım mühendislerinden elde edilmiştir. Gecikme süresinin dağılımı ve parametreleri bulunduktan sonra ÖB aralığı modellenmiştir.

Chen ve Trivedi(2002)'de durum tabanlı ÖB politikası için sürekli Markov zincirlerini kullanarak minimal bakım ve değiştirme noktaları için eşik değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Modelin optimizasyonu için toplam maliyeti en küçükleme ve ekipman kullanılabilirliğini en çoklama algoritmaları geliştirilmiştir.

Marseguerra ve Zio(2000)'de yazarlar bakım ve tamir politikalarının optimizasyonu için Genetik Algoritma (GA) maksimizasyon prosedürünü Monte-Carlo simülasyonu ile birleştirmişlerdir. Bekleme operasyon tipleri, yıpranma tamirleri, yaşlanma, periyodik bakım dizileri, bileşenlerin öncelik sırası ve farklı tamir türleri(mekanik, elektrik...) için hazır tamir takım elemanı sayısı gibi farklı bakış açıları için Monte-Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Daha sonra GA ile bileşenlerin bakım periyodu ve tamir takımı sayıları optimize edilmiştir (Monte-Carlo'daki her bir olasılıklı bakım ve tamir stratejisi için geliştirilen ve ekonomik performans ile fabrika güvenilirliğine dayanan kar fonksiyonu optimizasyonu için GA kullanılmıştır).

Kodalı ve Chandra (2001)'de bir Hindistan işletmesinde mevcut bakım sistemi ile önleyici ve düzeltici bakımların bir adım ötesi olarak görülebilecek TÜB'ı karşılaştırılmıştır. TÜB'ın ana avantajları olan üretkenlik, kalite, maliyet, teslimat, güvenlik, moral, çalışma ortamı ve rekabetçi avantaj ana faktör olarak alınmış, bunların alt faktörleri ise literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulmuş ve mevcut bakım sistemi ile kıyaslaması AHP (Analitik Hiyerarşi Yöntemi) yöntemi ile yapılmıştır. Makalenin sonuç bölümüne göre; TÜB'ın ekipman etkinliği, daha iyi üretim kalitesi, sipariş tarihlerinin karşılanmasında ve iş yerinin gelişimi doğrultusunda önemli gelişim ve katkı sağlayacağı görülmüştür.

Bevilacqua ve Braglia(2000)'de bir İtalyan petrol rafinerisi için en iyi bakım stratejisinin seçiminde AHP'yi uygulanmıştır. Beş bakım alternatifi göz önüne alınmıştır: önleyici, koruyucu, durum-tabanlı, düzeltici ve fırsatçı bakım. En iyi strateji fabrikadaki her bir ünite (yaklaşık 200 adet) için seçilecektir. Öncelikle işletmedeki 200 makina, *güvenlik, süreç için makinanın önemi, bakım maliyeti, hata sıklığı, arıza süresi ve çalışma durumu* kriterlerinin ağırlıklandırılmalarıyla oluşan kritiklik indeksi ile 3 ana gruba ayrıldı ve her bir grup için

AHP süreci uygulanmıştır. AHP sürecindeki değişkenler literatür taramasından ve yöneticilerle yapılan görüşmelerle belirlenmiştir.

Bertolini ve Bevilacqua(2006)'da İtalya'daki bir petrol rafinerisinde geçmiş yıl verilerinden faydalanarak seçilen 10 kritik pompa ve onlarda oluşan hata türleri için en iyi bakım stratejisi seçiminde Hedef Programlama yöntemi kullanılmıştır. Hedef programlamada yazarlar istenmeyen sapmaları minimize etmek için AHP yönteminden faydalanmışlardır. Amaç programlama modelinde alt kriterlerin ağırlıkları; oluşum, ciddiyet ve tespit edilebilirlik değişkenleri kullanılarak AHP yöntemi ile tespit edilmiştir. Başka bir deyişle AHP analizleri her bir hata türü için olası bakım politikalarına (düzeltici, önleyici ve koruyucu) öncelik vektörü sağlamıştır.

Carnero(2006)'ya göre koruyucu bakım programının uygulanmaya konması işletme açısından stratejik bir karardır. Yazar bu kararı almaya yardımcı bir karar destek modeli geliştirilmeye çalışmıştır. Modelin geliştirilmesinde kullanılacak AHP yöntemi için 2 senaryo değişkeni, 47 karar değişkeni ve 4 alternatif belirlenmiş ve bunlar yöneticilerle görüşmeler, literatür taraması ve benzer koruyucu bakım uygulayan firmaların deneyimlerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Ayrıca modelde doğru bakım programının seçimi için ve firma ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için uzman karar destek kuralları geliştirilmiştir.

Lin vd. (2000)'de, eşit olmayan aralıklarda bakımın yapılabildiği sıralı önleyici bakımı ele alındı. Geleneksel önleyici bakım modellerinde bakımdan sonra sistem ya yeni-gibi-iyidir ya da eskisi-gibi-kötüdür (minimal bakım faaliyetleri için). Daha gerçekçi bir yaklaşım kullanan yazarlar kusursuz olmayan bakımı, yani bakımdan sonra sistemin bu iki durum arasında olacağını varsaydılar. Yazarlar her bir bakım faaliyetinden sonra sistem durumunu tehlike oranındaki ve ekipman yaşındaki değişime göre modellemişlerdir. Maliyet minimizasyonu çerçevesinde ÖB bakım aralıklarını karar değişkeni olarak kullanarak ve ÖB aralıklarını güvenilirlik eşik değeri yardımıyla tespit etmek şeklinde iki farklı çözüm algoritması sunmuşlardır.

Lapa vd. (2006)'da sabit olmayan bakım aralıkları için önleyici bakım planlaması yapılmıştır. Modelde onarıma (düzeltici bakım) ihtiyaç olma olasılığı, onarım maliyeti, çalışmama süreleri, önleyici bakım maliyetleri, bakımın sistem güvenliğine etkisi ve kusurlu bakım olasılıkları göz önüne alınarak, genetik algoritma ile optimal çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır.

Kwak vd. (2004)'te gökdelenlerin havalandırma sistemlerinin hata eğilimini, güvenilirlik değerlendirmesine dayanan, hata ve muayene arasındaki bağımsızlığı dikkate alan, Monte Carlo yöntemi kullanılarak durum tabanlı önleyici bakım için optimal muayene periyodu bulunmaya çalışılmıştır. Havalandırma sisteminin bileşenleri için geçmiş verilerden yola çıkarak hata oluşum eğilimi ve hatalar arası ortalama süre bulunmuştur. Simülasyon yardımıyla muayene periyodu ve önleyici bakım için en iyi hatalar arası ortalama süre tespit edilmiştir. Bulunan değerler ve mevcut değerler maliyet avantajı yönünden karşılaştırılmıştır.

Charles vd. (2003)'te yarı iletken üretimi için önleyici bakım stratejilerinin optimizasyonuna çalışılmıştır. Bakım aralıkları için önleyici bakım, koruyucu bakım ve toplam üretken bakım stratejileri göz önüne alınarak benzetim yardımıyla bakım maliyetlerinin minimizasyonu doğrultusunda en uygun bakım aralığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Sim ve Endrenyi (1993)'te durumu zamanla bozulan bir ekipman için Markov modeli geliştirilmiştir. Önleyici bakımın sistem yıpranma oranını düşürdüğü varsayılmıştır. İki farklı hata (yıpranma ve bozulma) göz önüne alınmıştır. Yıpranma hataları için minimal bakım ve ana bakım, bozulma hataları için minimal tamir ve yenileme faaliyetleri esas alınmıştır. Minimal bakımın (veya minimal tamirin), başka bir deyişle onarımın, sistemi bir önceki yıpranma durumuna döndürdüğü, ana bakımın ve yenilemenin ise sistemi yeni gibi iyi durumuna döndürdüğü varsayılmıştır. Maliyet minimizasyonu için en iyi çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

Chen ve Trivedi(2005)'te yıpranan bir sistem için durum tabanlı önleyici bakım stratejisi ele alınmıştır. Her bir muayeneden sonra sistemin durumuna göre üç farklı karar stratejisi bulunmaktadır: hiçbir faaliyet yapma, sistemi bir önceki yıpranma durumuna döndürecek minimal bakım yap veya sistemi yeni gibi iyi durumuna döndürecek ana bakımı yap. Markov karar süreci yardımıyla maliyet minimizasyonu için en uygun minimal ve ana bakım eşik değerleri tespit edilmiştir.

Amari ve McLaughlin(2004)'te sistem parametrelerinin zamanla kötüleştiği ve dokunulmazsa yıpranma hatasının oluşması olarak tanımlanabilecek zamanla durumu bozulan bir sistem ele alınmıştır. Yapılan muayeneler neticesinde sistemin yıpranma durumuna göre önleyici bakım yapılmakta veya bakım yapılmamaktadır. Arıza durumunda ise düzeltici



bakım yapılmaktadır. Markov zincirleri yardımıyla maksimum elde edilebilirlik için optimal sistem parametreleri tespit edilmiştir.

Ruiz vd.(2007)'de üretim çizelgeleme sorununda bakım ve iş atama görevlerini birleştirmeye çalışmışlardır. Sistem güvenilirliğini arttırmak için önleyici bakım faaliyetleri iş sıralamayla birlikte düşünülmüş; karınca kolonisi ve genetik algoritma gibi farklı sezgisel yöntemlerle çözüm yolları aranmıştır.

Hosseini vd.(2000)'de yıpranma ve bozulma hatalarına sahip bir sistem için durum tabanlı bakım modeli geliştirilmiştir. Sisteminin durumu muayeneler ile tespit edilmekte ve yıpranma derecesine göre minimal bakım ve ana bakım yapılabilmekte veya hiçbir hareket yapılmamaktadır. Bozulmamış sisteme minimal ve ana bakım uygulanırken, bozulmuş sisteme ise minimal ve ana tamir uygulanmaktadır. Ana tamir veya ana bakım sistemi yeni-gibi-iyi durumuna döndürürken, minimal tamir veya bakım ise sistemi bir önceki çalışabilir duruma döndürmektedir. Modelin çözümü stokastik Petri Net analizi ile yapılmıştır.

Cheng ve Chen (2003)'de yıpranan bir sistemde periodik önleyici bakım politikası ele alınmıştır. Sistem sabit aralıklarla önleyici bakıma alınmaktadır ve  $n$ . ÖB'den sonra yenilenmektedir. Eğer ÖB'lar arasında hata oluşursa sisteme minimal bakım uygulanmaktadır. Her bir ÖB'ın sisteme olan etkisi gelişim faktörü ile ölçülmektedir. Modelde gelişim faktörü sistem yaşının ve her bir ÖB'ın maliyetinin fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Hata limitini içeren ve içermeyen iki ayrı model oluşturularak maliyet minimizasyonu için optimal ÖB aralığı ve sistem yenileme noktası bulunmaya çalışılmıştır.

Chan ve Asgarpoor (2006)'da yıpranma hataları ve rasgele oluşabilen hatalar olmak üzere iki hata türü ele alınmıştır. Yıpranma  $k$  adımlı bir süreç olarak ele alınmıştır ve bundan dolayı markov sürekli zamanlı bir markov zinciri oluşturulmuştur. Bakımın sistemin durumunu iyileştirdiği fakat yeni-gibi-iyi durumuna döndürmediği varsayımı ele alınmıştır. Her bir yıpranma aşamasında sistemi bir önceki duruma döndüren minimal bakım uygulanabilir veya sistem rasgele hataya maruz kalabilmektedir. Rasgele hata oluşumunda sistem tamir edilerek başlangıç durumuna,  $k$ . yıpranma aşamasından sonra ise sistem tamir edilerek başlangıç durumuna (yeni-gibi-iyi) dönmektedir. Sistem çalışabilirliğini maksimize edecek optimal önleyici bakımlar arası süre tespit edilmiştir.

Sim ve Endrenyi (1998)'de çalışma durumu zamanla bozulan bir sistem alınmıştır. Her bir yıpranma seviyesinde rasgele hataya ve yıpranma hatasına maruz kalmaktadır. K yıpranma hatasından sonra ve rasgele hata oluşumundan sonra sistem yenilenerek başlangıç durumuna dönmektedir . Her bir yıpranma hatasında sistem minimal ÖB'a alınarak bir önceki yıpranma seviyesine geçmektedir. Sistemin denge denklemleri yazılarak çalışamama olasılığını minimize edecek optimal önleyici bakımlar arası süre bulunmaya çalışılmıştır.

Amari vd. (2006)'da stokastik yıpranma sürecine, farklı bakım faaliyetlerine ve yıpranma durumunu açığa çıkartacak çizelgelenmiş bir muayene politikasına sahip bir sistem incelenmiştir. Yıpranma durumunun zamanın fonksiyonu olduğu için stokastik bir süreç olarak ele alınmıştır. Modelde markov zinciri kullanılarak yıpranma ve rasgele hatalar olmak üzere iki farklı hata türü ele alınmıştır. Sistemin durumu muayeneler ile tespit edilerek yıpranma durumuna göre minimal tamirle bir önceki yıpranma seviyesine dönebilir veya ÖB ile başlangıç durumuna dönebilir; oluşan rasgele hatalarda ise sistem minimal tamir ile yıpranma seviyesinde herhangi bir değişiklik olmadan başladığı seviyesine geri dönebilir. Örnek bir uygulama gerçekleştirerek her bir yıpranma seviyesinde hangi bakım faaliyetinin uygulanabileceği tespit edilmeye çalışılmıştır.

## 4. BÖLÜM

### ÜRETİM SİSTEMLERİNDE BAKIM FAALİYETLERİNİN PLANLANMASI

Planlama herhangi bir işe başlamadan önce o işi gerçekleştirmek için gerekli olan görevlerin belirlendiği bir süreçtir. Çizelgeleme ise işi yerine getirme emirleri, işin izlenmesi, kontrol edilmesi ve raporlanması ile birlikte planlanan işin aşamalarıyla ve gerçekleştirme süreleriyle ilgilidir. Bakımın üç kaynağa ihtiyacı vardır: işgücü, malzeme ve ekipman. İnsan kaynakları üretim maliyetlerini ciddi olarak artırır ve en değerli ve kontrolü en zor kaynaktır. Bakım yönetimi ücretleri kontrol edemez fakat çizelgelemeyi yani işin nerede, nasıl ve ne zaman yapılacağını kontrol edebilir. Çizelgelemenin etkili kullanımı işgücü üretkenliğinin ana belirleyicisidir (Paz ve Leigh, 1993, s. 47–48).

İyi bir planlama çizelgelemenin ön şartıdır fakat aynı zamanda iyi bir planlama için çizelgelemeden geri besleme ise şarttır. Bu yüzden pek çok organizasyonda bu iki süreç aynı bölümler veya kişilerle yapılmaktadır (Duffuaa vd., 1999, s.156).

Bakım çizelgeleme süreci ile diğer çizelgeleme faaliyetleri arasındaki ana farklılıklar (Paz ve Leigh, 1993, s. 54-57):

- Bakım tekrarı olmayan işlerin çizelgelenmesini içerir. Aynı bakım işi yapılırsa bile aralarında zorluk veya süre olarak farklılıklar bulunabilir. Planlı bakım sırasında hangi parçanın değişeceği veya muayenenin nasıl sonuçlanacağı önceden bilinemez. Bu bakım için standart süreç geliştirmeyi zorlaştırır,
- Tamir işleri dinamik bir teşhis süreci içerir. Dolayısıyla bakım personelinin ekipman durumunu kontrol etmeden nasıl bir tamir faaliyeti yapacağı bilinemez,
- Aynı ekipman üzerinde farklı bakım faaliyetlerinin uygunluğuna dikkat edilmelidir. Farklı bakım işleri için farklı bakım personeli gerekiyorsa veya yönetim hedefleri açısından farklı bakım işlerine öncelik verilecekse kullanılacak ekipman, kaynak gibi kısıtlardan dolayı çatışmalar ortaya çıkabilir,
- Bakım işleri alt işlere ayrılarak, işler öncelik sırasına konarak farklı zamanlara ve farklı kişilere görevler atanabilir. Arıza oluşması durumunda da arızanın kapsamı, tamirin en uygun ne zaman yapılabileceği, tüm iş veya her bir alt iş için gereken sürenin tespiti, işgücü ve kaynak ihtiyacı gibi farklı unsurlar gözden geçirerek en uygun planlama yapılır,

- Bakım faaliyetlerinin tam bir teslim süresi yoktur. Bakımın belirsizliği altında işlemlerin ne kadar sürede bitirilebileceği önceden tahmin edilemez. Aynı biçimde bakım faaliyeti tamamlandıktan sonra yapılan işin kontrolü içinde belirli bir ön çalışma süresi gerekebilir,
- Bakım faaliyetlerinin amacı tam olarak açık olmayabilir. Sistem güvenilirliğini maksimize edecek uzun süreli ve yüksek maliyetli bakım ile maliyetleri minimize edecek kısa süreli bir tamir faaliyeti arasında denge sağlanmalıdır,
- Bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesi aynı zamanda kaynakların elde edilmesini ve bunların gereken zamanda istenen yerde olmalarının çizelgelenmesini de içerir. Programı yapan kişi istenen kaynakların yedek parça deposunda olup olmadığını ve çizelgelenen zamanda gerektiği yerde olmasını sağlamalıdır,
- Planlı bakım faaliyetleri eğer mümkünse üretim çizelgesindeki boş zamanlarda yapılabilir. Bu sayede işlemler arasındaki boşta bekleme süreleri minimize edilebilir. Burada önemli olan nokta, üretim planındaki boş sürenin bakım faaliyeti süresi için yeterli olması ve uygun personelin elde olmasıdır,
- Bakım planlaması organizasyondaki malzeme, operasyon ve mühendislik gibi pek çok bölümlerle iş birliği gerektirir ve pek çok durumda bu gecikmelerin veya dar boğazların sebebidir.

Bu farklılıklardan dolayı bakımın planlaması oldukça zordur ve etkili bir planlama ve çizelgeleme aşağıdaki katkıları sağlar (Duffuaa vd., 1999, s. 157):

- Bakım maliyetlerinin azaltılması,
- Gecikmelerin ve kesintilerin azalması sonucu bakım iş gücünden daha fazla yararlanmak. Ayrıca koordinasyonun gelişmesi sayesinde yönetime de kolaylık sağlanmış olur,
- İşe en uygun bakım personelinin atanması, en iyi yöntemlerin ve prosedürlerin kullanılması sonucu bakım faaliyetinin kalitesinin artması.

Planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin temel hedefleri:

- Bakım personelinin boşta kalma süresini en aza indirmek,
- İş süresinin, malzemenin ve ekipmanın etkin kullanımını en çoklamak,
- İstenen sipariş teslim süresini ve kaliteyi koruyacak seviyede ekipmanların çalışabilmelerini sağlayabilmek.

TB faaliyetlerinde üretimin aksamasını minimum düzeyde tutmak gerekli, fakat yeterli değildir. Herhangi bir makinenin bakıma alınması diğer makinelerin boş kalmasına sebep oluyorsa kapasite kaybı var demektir. Çok makineli sistemlerde TB yüzünden kapasite kaybının önlenmesi ayrı bir sorundur. Diğer taraftan TB işlerini yürütecek insan gücünden yararlanma oranını da yüksek tutmak gerekmektedir. TB faaliyetlerinde belirsizlik bulunduğundan eldeki kısıtlı insan gücü olanaklarından en iyi şekilde yararlanılmalıdır. Bu aynı zamanda TB maliyetlerinin düşürülmesi açısından da önem taşır (Kaya, 2003, s. 6).

TB faaliyetlerindeki aksaklıkların üretim akışı, üretkenlik ve dolayısıyla maliyetler üzerindeki etkilerini özetlersek (Kaya, 2003, s. 6):

- Makinelerin ve onları çalıştıran işçilerin boş kalmaları,
- Dolaylı işçilik ve üretim genel masraflarının artması,
- Müşteri taleplerinin karşılanamaması, satışlarda düşmeler,
- Aksaklığın meydana geldiği departmanla ilişkisi bulunan diğer departmanlardaki gecikme ve boş beklemler,
- Fire oranını artması, kalitenin düşmesi,
- Siparişlerin zamanında teslim edilememesi yüzünden müşteriyi kaybetme veya tazminat ödeme.

#### **4.1. Planlama**

İyi bir bakım sisteminde en önemli aşama planlama aşamasıdır. Bakım bakış açısıyla planlama, istenen bir işi yerine getirecek tüm ekipmanların belirlenmesi ve o iş başlamadan önce hazır olmaları anlamına gelmektedir. Planlama süreci iş emirlerinin, malzeme listesinin, satın alma emirlerinin, iş standartlarının ve iş gücü planlamayla ilgili pek çok fonksiyonla iş birliği içinde olmalıdır. İyi bir planlama süreci aşağıdaki adımları içermelidir (Duffuaa vd., 1999, s.158-9):

- İş kapsamının belirlenmesi,
- İş planının hazırlanması. İşlerin sıraya konmasını ve her bir iş için en uygun yöntemin belirlenmesi,
- İş için personel sayısının belirlenmesi,
- Parça ve malzemelerin planlanması ve siparişlerinin verilmesi,
- Özel bir ekipmanın gerekip gerekmediğinin kontrolü ve gerekirse siparişinin verilmesi,

- Uygun yetenekli çalışanların işlere atanması,
- Güvenlik süreçlerinin gözden geçirilmesi,
- Bakım işleri için önceliklerin belirlenmesi,
- Maliyetlerin hesaplanması,
- İş emrinin yerine getirilmesi,
- Yapılan faaliyetlerin kontrolü,
- Uygun tahmin yöntemleriyle bakım yükünün tahmin edilmesi.

Bakım faaliyetlerinin planlanması için örnek bir soru listesini incelersek (Rosqvist vd., 2007, s. 3):

- Hedefler neler?
- En kritik sistemler hangileri?
- En kritik ekipmanlar hangileri?
- Bunlara ne yapılabilir?
- Yaptığımız işi nasıl optimize edebiliriz?
- Doğru yaptığımızı bilmek için neyi ölçmeliyiz?
- Deneyimlerden gelen bilgiler nasıl organize edilmeli?

Son olarak planlama fonksiyonunu kısaca özetlersek (Duffuaa ve Al-Sultan, 1997, s. 163):

1. Planlanacak işin belirlenmesi,
2. İşin kapsamının ve zorluğunun belirlenmesi,
3. İşgücü ihtiyacının tahmin edilmesi,
4. Yedek parça ve malzeme ihtiyacının ve bulunabilirliklerinin belirlenmesi,
5. Özel ekipman ihtiyacının belirlenmesidir.

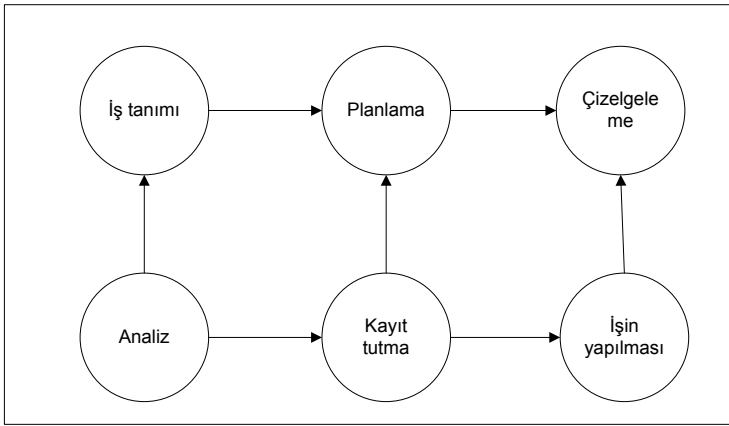
#### **4.2. Çizelgeleme**

Bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesi, hangi işlerin mevcut kaynaklarla eşleştiği ve belirli bir zaman diliminde gerçekleştirilmesi için sıraya koyuldukları süreçtir. Etkili bir çizelgeleme aşağıdaki unsurları dikkate almalıdır (Duffuaa vd., 1999, s. 161–2):

- İşlerin acilliğini ve kritikliğini ifade edebilecek derecelendirme sistemi,

- İş emri için gerekebilecek tüm malzemelerin iş alanında olup olmadığı (eğer değilse o iş sıraya konulmamalı),
- Ana üretim planı ve üretimle yakın iş birliği,
- Güvenilir ve planlayıcıını isteklerinin etkisinden arındırılmış tahminler,
- Esneklik,
- İş önceliklerinin belirlenmesi.

Bakım planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin akış şemasını aşağıdaki biçimde ifade edebiliriz:



Şekil 4.1. Bakım planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin akış şeması (Dunn S., [www.maintenanceworld.com](http://www.maintenanceworld.com))

## 5. BÖLÜM

### UYGULAMA

Bu bölümde bir işletmenin TB sistemi markov zincirleri yardımıyla modellenecektir. Öncelikle modelin çözümünde kullanılacak olan markov zincirleri ve ardından da model anlatılacaktır.

#### 5.1. Markov Zincirleri

Stokastik olasılık teorisi, bir önceki gözlemin, gelecekte ortaya çıkacak gözlemlerin tahminini etkilediği şans olgusunu incelemektedir. Prensip olarak bir dizi şans deneyini gözlemlediğimizde, daha önceki gözlemlerimiz gelecekteki gözlemlere yönelik tahminlerimizi etkiler. A.A. Markov 1907 'de bir deneyin sonucunun sadece bir önceki deneydeki sonuca dayalı olduğu yeni bir şans prosesini incelemiştir. Bu şekildeki prosese markov zinciri denir (Bektaş ve Kandiller, 2002, s. 168–169).

Markov zincirleri, dinamik ve stokastik sistemlerin analizinde ve özellikle bir sistemin zaman boyunca içinde bulunabileceği farklı durumlar arasında yaptığı hareketlerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan modellerdir. Markov zincirlerinin, sistemin belli bir anda bulunacağı durumu tahmin etme yanında sistemin uzun dönemde (denge durumu) bulunacağı durumu tahmin etme yeteneği de vardır. Bu yönüyle markov zincirleri bir optimizasyon aracından çok, simülasyon modelleri gibi bir açıklama ve tahmin aracıdır. Ancak günümüzde benzetim ve markov zincirleri de optimizasyon amaçlı olarak sıkça kullanılmaktadır (Aytemiz ve Şengönül, 2004, s. 33).

Sonlu veya sayılabilir olası değerler alabilen  $\{ X_n, n = 0, 1, 2, \dots \}$  stokastik sürecini ele alalım. Başka türlü tanımlanmadığı sürece, süreç olası sonuçları negatif olmayan tam sayı kümesiyle  $\{0, 1, 2, \dots\}$  ifade edilir. Eğer  $X_n = i$  ise, süreç  $n$  zamanında  $i$  durumundadır denir. Süreç ne zaman  $i$  durumunda olursa olsun, her zaman  $P_{ij}$  olasılığı ile bir sonraki durumunun  $j$  olacağı varsayılır. Yani tüm  $i_0, i_1, \dots, i_{n-1}, i, j$  durumları ve  $n \geq 0$  için;

$$P\{X_{n+1} = j \mid X_n = i, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0\} = P_{ij} \quad (5.1.1)$$



Böyle bir stokastik sürece kesikli-zamanlı markov zinciri denir. (5.1.1) denkleminde, verilen  $X_0, X_1, \dots, X_{n-1}$  geçmiş durumları ve  $X_n$  mevcut durumu için herhangi bir  $X_{n+1}$  gelecek durumunun geçmiş durumlardan bağımsız olduğu ve sadece içinde bulunduğu mevcut duruma bağlı olduğu çıkarılır. Buna markov özelliği denir. Markov özelliğine sahip olan bir sistemin  $k$  olay sonra içinde bulunacağı durum sadece şu an içinde bulunduğu duruma bağlıdır ve geçmiş olaylar sırasında içinde bulunduğu durumlardan bağımsızdır.

$P_{ij}$  değeri, süreç  $i$  durumundayken bir sonraki geçişin  $j$  durumuna yapılma olasılığıdır, yani geçiş olasılıklarıdır. Olasılıkların pozitif olmalarından dolayı ve sürecin her hangi bir duruma geçiş yapması gerektiği için;

$$P_{ij} \geq 0, \quad i, j \geq 0, \quad \sum_{j=0}^{\infty} P_{ij} = 1, \quad i = 0, 1, \dots$$

$P, P_{ij}$  bir adım sonrası geçiş olasılıklarının matrisidir,

$$P = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & \dots \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & \dots \\ \vdots & & & \\ P_{i0} & P_{i1} & P_{i2} & \dots \end{pmatrix}$$

Bir örnek teşkil etmesi amacıyla, dört olası duruma sahip dinamik bir sistem için geçiş matrisi aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.1. Dört olası durumlu bir sistem için geçiş matrisi (Aytemiz ve Şengönül, 2004, s. 34).

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
Durum 1	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{14}$
Durum 2	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_{23}$	$P_{24}$
Durum 3	$P_{31}$	$P_{32}$	$P_{33}$	$P_{34}$
Durum 4	$P_{41}$	$P_{42}$	$P_{43}$	$P_{44}$

Yukarıda verilen geçiş matrisinde satırlar olay öncesinde, sütunlar ise olay sonrasında sistemin bulunabileceği tüm olası durumları sıralamaktadır. Matris elemanları ( $P_{ij}$ ,  $i$  ve  $j = 1, 2, \dots, n$ ) ise olay öncesinde  $i$  durumunda olan sistemin olay sonrasında  $j$  durumuna geçme olasılığını göstermektedir. Örneğin  $P_{32}$ , olay öncesinde durum 3'te bulunan sistemin olay sonrasında durum 2'ye geçme olasılığıdır (Aytemiz ve Şengönül, 2004, s. 34).

Olasılık geçiş matrisinin her bir satırı karşılık gelen durumdan çıkan akışları, her bir sutunu ise mevcut duruma giren akışları gösterir. Her bir durumdan çıkan akışların birikimli toplamları 1 olacağı için P geçiş matrisindeki her satırın toplamı 1'dir ve negatif olmayan elemanlardan oluşur. Negatif olmayan elemanlardan oluşan böyle bir matrise kimi zaman stokastik matris de denilebilir.

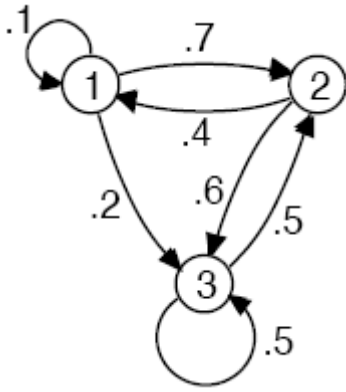
Markov zincirlerinin en önemli elemanı sistemin zaman içerisinde bulunabileceği tüm olası durumların listesidir. Markov zincirlerinde, bir sistemin sonlu sayıda (sayılabilir),  $n$ , olası durumu vardır. Sistemin belirli bir  $t$  anında içinde bulunabileceği tüm durumlara ait olasılıklar  $n$  boyutlu bir vektör ile gösterilir. Bu vektöre durum olasılık vektörü adı verilir ve literatürde  $\pi^n$  ile gösterilir ve  $\pi^n = (\pi_0^n, \pi_1^n, \dots)$ . Bu vektörde  $\pi_i^n$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , sistemin  $n$  adım sonra  $i$ . durumda bulunma olasılığını ifade eder.  $\pi^n = \pi^0 \cdot P^n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) olduğundan dolay,  $n$  adım sonra  $i$  durumda olma olasılığı kısaca  $j$ 'den  $i$ 'ye  $n$  adımda gitmek için geçilen tüm yolların olasılıklarının başlangıç durumunun  $j$  olma olasılığıyla çarpımlarının toplamıdır.

Markov zincirlerinin en önemli varsayımlarından birisi tek adımda geçiş matrisinin zaman içinde değişmediği varsayımdır. Bu varsayım altında,  $k$  adımda geçiş matrisi tek adımda geçiş matrisinin  $k$ . kuvveti alınarak kolayca bulunabilir. Bir başka ifade ile sistemin  $k$  olay sonrasındaki durumunu tahmin edebilmek için sadece şu an içinde bulunduğu durumu ve tek adımda geçiş matrisini bilmek yeterlidir. Bu durum matematiksel olarak (Aytemiz ve şengönül, 2004, s. 35);

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \pi_0 \cdot P \\ \pi_2 &= \pi_1 \cdot P = \pi_0 \cdot P^2 \\ &\vdots \\ \pi_n &= \pi_0 \cdot P^n \end{aligned}$$

ile ifade edilir.

şimdiye kadar anlatılanları durum geçiş diyagramı aşağıda verilen örnek bir markov zinciri ile aıkırsak ([www.owl.net.rice.edu/~elec428/handouts/DTMC.pdf](http://www.owl.net.rice.edu/~elec428/handouts/DTMC.pdf)):



Şekil 5.1. Markov geçiş diyagramı

P bir adım sonrası geçiş matrisi:

$$\begin{bmatrix} 0.1 & 0.7 & 0.2 \\ 0.4 & 0 & 0.6 \\ 0 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

olur. Başlangıç durum olasılıkları vektörü de  $\pi_0 = (0.3 \ 0.4 \ 0.3)$  olsun. Buradan geçiş olasılıkları elde edilir:

$$\begin{aligned} \pi_1(1) &= 0.3(0.1) + 0.4(0.4) + 0.3(0) = 0.19 \\ \pi_2(1) &= 0.3(0.7) + 0.4(0) + 0.3(0.5) = 0.36 \\ \pi_3(1) &= 0.3(0.2) + 0.4(0.6) + 0.3(0.5) = 0.45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \pi_1(2) &= 0.19(0.1) + 0.36(0.4) + 0.45(0) = 0.163 \\ \pi_2(2) &= 0.19(0.7) + 0.36(0) + 0.45(0.5) = 0.358 \\ \pi_3(2) &= 0.19(0.2) + 0.36(0.6) + 0.45(0.5) = 0.479 \end{aligned}$$

Elde edilen durum olasılıkları vektörleri:

$$\begin{aligned} \pi(0) &= (0.3 \ 0.4 \ 0.3) \\ \pi(1) &= (0.19 \ 0.36 \ 0.45) \\ \pi(2) &= (0.163 \ 0.358 \ 0.479) \\ &\vdots \end{aligned}$$

Markov zincirlerinin diğer bir elamanı da meydana geldiğinde sistemin içerisinde bulunduğu durumu ve dolayısıyla durum olasılık vektörünü değiştiren olaylardır. Sistem, zaman içerisinde ortaya çıkan bu olaylar sonucunda bir durumdan diğer bir duruma geçer.

Sistemin bir durumdan diğere duruma geçmesine neden olan olayların zaman içerisinde sürekli veya belirli zaman aralıklarında (kesikli) ortaya çıkmasına göre markov zincirleri, sürekli veya kesikli markov zincirleri olmak üzere 2'ye ayrılır (Aytemiz ve Şengönül, 2004, s. 33).

### 5.1.1. Sürekli Zamanlı Markov Zincirleri

Negatif olmayan tam sayı değerleri alan  $\{X(t), t \geq 0\}$  sürekli zamanlı stokastik süreci ele alınır. Bir bileşenin  $t$  zaman aralığında  $j$  durumundan  $k$  durumuna geçme olasılığı aşağıdaki şartlı olasılıkla verilir (Chan ve Asgarpoor, 2001):

$$p_{j,k}(t) = P[X(t+s) = k \mid X(s) = j] = P[X(t) = k \mid X(0) = j]$$

Başka bir ifadeyle sürekli zamanlı markov zinciri  $t + s$  anındaki gelecek durumunun koşullu dağılımının, verilen  $X(0)$  mevcut durumu ve tüm geçmiş durumlar altında geçmişten bağımsız olan ve sadece şu anki duruma bağlı olduğu markov özelliği taşıyan bir stokastik süreçtir. Ayrıca  $P\{X(t+s) = k \mid X(s) = j\}$  bağıntısı  $s$ 'den bağımsız ise o zaman markov zinciri durağan veya homojen geçiş olasılıklı olarak varsayılır.

Sürekli zamanlı markov zincirinde süreç bir durumdan diğerine başlangıç durumunda belirli bir süre harcadıktan sonra geçer. Bu harcanan süreye durum bekleme süresi denir. Kesikli zamanlı markov zincirlerinde bu süre 1 iken sürekli zamanlı markov zincirlerinde üstel olarak dağılır. Kesikli zamanlı markov zincirlerinde çizdiğimiz geçiş diyagramlarını sürekli zamanlı markov zincirleri için de çizebiliriz.

Kesikli zamanlı markov zincirinde olasılık geçiş olasılıkları matrisini oluşturduğumuz biçimde, burada da  $Q$  sonsuz küçük oluşum matrisini (the *infinitesimal generator matrix*) oluşturabiliriz.  $Q$  oluşum matrisinin girdileri sürecin bir durumdan diğerine geçiş oranlarıdır.  $Q$  matrisinin köşegen değerleri o satıra karşılık gelen durumların dışarı akışlarının toplamının

negatifidir,  $q_i = -\sum_{j \neq i}^{\infty} q_{i,j}$ . Yani  $Q$  matrisinin satırlar toplamı 0'dır.

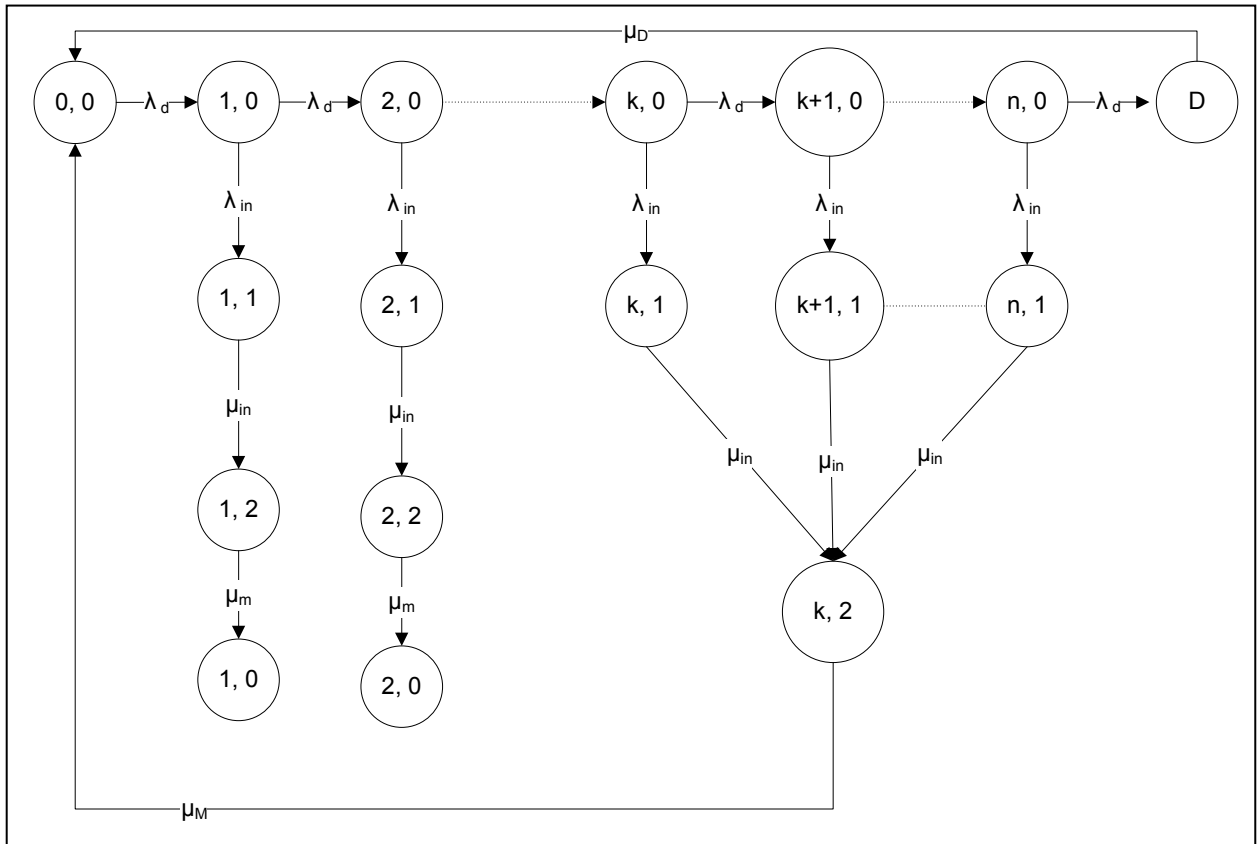
$$Q = \begin{bmatrix} -q_0 & q_{0,1} & \cdots & q_{0,j} \\ q_{1,0} & -q_1 & \cdots & q_{1,j} \\ \vdots & & & \\ q_{i,0} & q_{i,1} & \cdots & -q_i \end{bmatrix}$$

## 5.2. Model

Uygulamada bir otelin tamir – bakım sistemi modellenmeye çalışılmıştır. Müşteriler tarafından Teknik Müdürlüğe iletilen şikâyetler  $n$  adımlı bir markov zinciri olarak ele alınmıştır. Markov zincirinin tercih edilme sebebi şikâyetlerin birbirlerinden ve geçmişteki diğer şikâyetlerden bağımsız olmaları, her yeni şikâyetle sistemin biraz daha yıpranması ve artan şikâyetler sonucu hataların kaçınılmaz olmasıdır.

Teknik müdürlük gelen şikâyetler doğrultusunda öncelikle şikâyeti oluşturan etmeni muayene altına alıp çalışabilme durumunu tespit etmektedir. Belirlenen durum sonucunda şikâyetlere iki farklı biçimde yanıt verilebilmektedir. Belirli bir şikâyet sayısına kadar, sadece küçük tamir faaliyetleri ile şikâyet giderilmekte ve bunun sonucunda sistem o anki durumuna geri dönmektedir. Şikâyet sayıları  $k$  adet olduktan sonra yani koruyucu bakım eşiği aşıldıktan sonra artık küçük tamir faaliyetleri yeterli olamamakta ve bunun yerine gelen şikâyete koruyucu bakım uygulanmakta ve bakımdan sonra sistem yeni-gibi-iyi durumuna yani başlangıç durumuna dönmektedir. Son olarak da  $n$  şikâyet sayısından sonra sistem bakım veya tamir faaliyetlerine cevap verememekte ve  $n$  şikâyetten sonraki ilk şikâyette sistem düzeltici bakım ile yenilenmektedir. Dolayısıyla  $k$  koruyucu bakım eşiği ve  $n$  ise düzeltici bakım eşiğidir.

Sistemin durum geçiş diyagramı aşağıda verilmiştir;



şekil 5.2. İşletme bakım sistemi durum geçiş diyagramı

Burada,

$P(i, j) \rightarrow$  i: şikayet sayısı  
j: 0 – işlem yapılmamış  
1 – kontrol/muayene altında  
2 – tamir/bakım altında

anlamına gelmektedir.

Modelde tamir ve bakım sfireleri, muayene sfireleri ve şikayetler arası sfirelerin sfstel olarak dağıldığı varsayılmıştır. Modeldeki değişkenler:

- $1/\lambda_d$ : şikayetler arası ortalama sfure
- $1/\lambda_{in}$ : Muayeneler arası ortalama sfure
- $1/\mu_{in}$ : Ortalama muayene sfiresi
- $1/\mu_D$ : Ortalama dffzeltici bakım sfiresi

1/  $\mu_m$  : Ortalama tamir(minimal bakım) süresi

1/  $\mu_M$  : Ortalama önleyici bakım süresi

Modelin durağanlık denklemleri:

$$\lambda_d P(0,0) = \mu_D P_D + \mu_M P(k,2)$$

$$[\lambda_d + \lambda_{in}] P(i,0) = \lambda_d P(i-1,0) + \mu_m P(i,2),$$

$$1 \leq i < k$$

$$[\lambda_d + \lambda_{in}] P(i,0) = \lambda_d P(i-1,0),$$

$$k \leq i \leq n$$

$$\mu_{in} P(i,1) = \lambda_{in} P(i,0),$$

$$1 \leq i \leq n$$

$$\mu_m P(i,2) = \mu_{in} P(i,1),$$

$$1 \leq i < k$$

$$\mu_M P(k,2) = \mu_{in} \sum_{i=k}^n P(i,1)$$

$$\mu_D P_D = \lambda_d P(n,0),$$

$$P(0,0) + P_D + \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^2 P(i,j) = 1$$

Yukarıdaki denklemler çözümlenerek aşağıdaki kestirimler elde edilmiştir. Denklem çözümleri Ek – A’da verilmiştir.

$$1) P(k-1,0) = P(k-2,0) = \dots = P(1,0) = P(0,0)$$

$$2) P(k-1,1) = \dots = P(1,1) = P(0,0) \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}}$$

$$3) P(k-1,2) = \dots = P(1,2) = P(0,0) \frac{\lambda_{in}}{\mu_m}$$

$$4) P(n,0) = P(0,0) \left( \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right)^{n-k}$$

$$5) P_D = P(0,0) \frac{\lambda_d}{\mu_D} \left( \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right)^{n-k}$$

$$6) P(i,1) = P(i,0) \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}}, \quad k \leq i \leq n$$

$$P(k,2) = aP(0,0) \frac{\lambda_{in} 1 - a^{n-k}}{\mu_M 1 - a}$$

$$7) \quad a = \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}}$$

Markov zincirlerinde tüm durumların toplamı 1'e eşit olacağı için P(0,0) başlangıç durumunu buradan elde edebiliriz. Modelin amacı sistemin kullanılabilirlik durumunu en çoklayacak muayeneler arası ortalama sürenin ( $\lambda_{in}$ ) tespitidir. Bunun için öncelikle kullanılabilirlik fonksiyonu yazılır,

$$\text{Kullanılabilirlik} = P(0,0) + \sum_{i=1}^n P(i,0)$$

Modelin çözülmesi için kullanılabilirlik fonksiyonunun  $\lambda_{in}$ 'e göre türevi alınarak 0'a eşitlenir. Modelin çözümü Mathematica 5.2 ile yapılmıştır. Modelin çözüm aşamaları EK – B'de gösterilmiştir.

Model çözüldükten sonra aşağıdaki başlangıç değerleri verilerek optimal  $\lambda_{in}$  bulunmuştur. Daha sonra ise değişkenler aşağı ve yukarı yönde %10'ar değiştirilerek duyarlılık analizi yapılmıştır. Başlangıç değerleri için modelin Mathematica 5.2 ile yazılan kodu EK – C'dedir. Duyarlılık analizi sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir.

Başlangıç değerleri

n	k	$\lambda_d$	$\mu_{in}$	$\mu_m$	$\mu_M$	$\mu_d$
7	4	0.001	0.5	0.05	0.01	0.01

Başlangıç sonucu

$\lambda_{in}$
0.002582

Modelin başlangıç değerlerine göre müşteriden gelen şikayetleri en aza indirmek için 387 dakikada bir muayene yapılırsa bakım sistemi %91.82 kullanılabilirlikle çalışarak performansını maksimize edecektir.



Tablo 5.2. Duyarlılık analiziyle elde edilen sonuçlar

$\lambda_{in}$	n	k	$\lambda_d$	$\mu_{in}$	$\mu_m$	$\mu_M$	$\mu_d$
0.002573	<b>8</b>	4	0.001	0.5	0.05	0.01	0.01
0.002603	<b>6</b>	4	0.001	0.5	0.05	0.01	0.01
0.002346	7	<b>5</b>	0.001	0.5	0.05	0.01	0.01
0.002967	7	<b>3</b>	0.001	0.5	0.05	0.01	0.01
0.002736	7	4	<b>0.0011</b>	0.5	0.05	0.01	0.01
0.002421	7	4	<b>0.0009</b>	0.5	0.05	0.01	0.01
0.002590	7	4	0.001	<b>0.55</b>	0.05	0.01	0.01
0.002572	7	4	0.001	<b>0.45</b>	0.05	0.01	0.01
0.002668	7	4	0.001	0.5	<b>0.055</b>	0.01	0.01
0.002489	7	4	0.001	0.5	<b>0.045</b>	0.01	0.01
0.002586	7	4	0.001	0.5	0.05	<b>0.011</b>	0.01
0.002577	7	4	0.001	0.5	0.05	<b>0,009</b>	0.01
0.002580	7	4	0.001	0.5	0.05	0.01	<b>0.011</b>
0.002585	7	4	0.001	0.5	0.05	0.01	<b>0,009</b>

### 5.2.1. Asansör Alt Sistemi

Bu bölümde işletmenin tamir – bakım sistemlerinden asansör alt sistemi ele alınmıştır. Teknik müdürlükle ve asansör bakım firmasıyla yapılan görüşmeler sonucu aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir;

Müşterilerden ayda ortalama 2 şikayet alınmaktadır

Firma tarafından ayda bir periyodik bakım yapılmaktadır

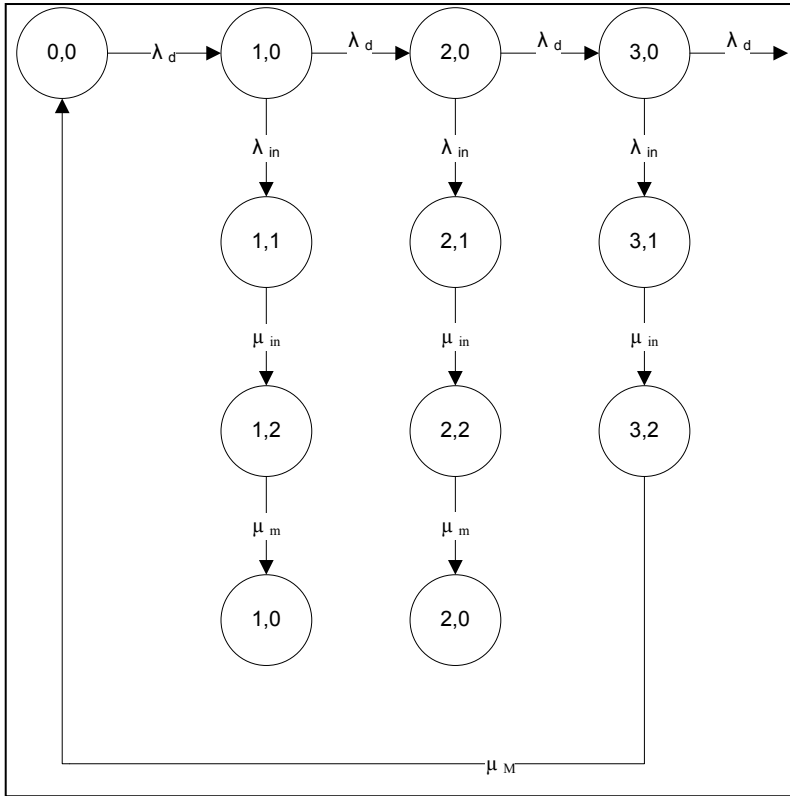
- Asansörün yorgunluğu, bakımın hafta sonu veya yoğun saatlerde yapılması

gibi sebepler bakım süresini etkilemektedir

Yukarıdaki anlatılan genel modelden yola çıkılarak asansör alt sistemi için benzer bir model ile 2 ayrı çözüm yoluna gidilmiştir:

1. Kullanılabilirliği maksimize edecek optimal  $\lambda_{in}$ 'in bulunması
2. Maliyetleri minimize edecek optimal  $\lambda_{in}$ 'in bulunması.

Alt sistemin durum geçiş diyagramı aşağıda verilmiştir:



Şekil 5.3. Asansör alt sistemi durum geçiş diyagramı

Modelde  $P(i,j)$  olarak gösterilen durumda  $i$  şikayet sayısını göstermektedir, (1,0) ve (2,0) müşteri şikayetlerini yansıtırken (3,0) durumu aylık periyodik bakıma karşılık gelmektedir. Müşteri şikayetleri teknik müdürlük tarafından incelendikten sonra kendi personeli tarafından onarılmaktadır.

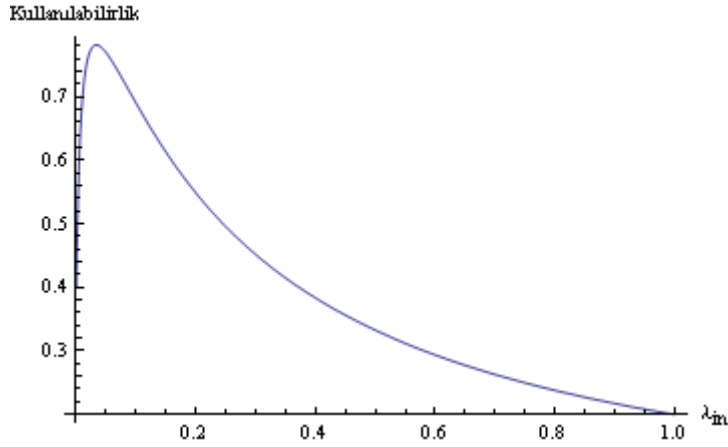
Modelin çözümü ana modeldeki gibi durumlar çözümlenerek yapılmıştır. Sayısal çözüm için ayda 2 şikayetin geldiği, onarımın 3 saat, periyodik bakımın 12 saat ve muayenenin 2 saat sürdüğü varsayılmıştır. Bu varsayımlar altında;

Modelin girdileri

$\lambda_d$	$\mu_{in}$	$\mu_m$	$\mu_M$
0.00277	0.5	0.3333	0.0833

olarak alır ve bunun sonucunda  $\lambda_{in}$  0.0335 bulunur. Yani iki muayene arasındaki süre 29.85 saattir. Sistem kullanılabilirliği ise %78,14 olarak bulunmuştur.

Başlangıç değerleri için elde edilen kullanılabilirlik –  $\lambda_{in}$  grafiği Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Kullanılabilirlik -  $\lambda_{in}$  grafiği

İkinci bir çözüm yolu olarak da modele bakım maliyetleri eklenmiştir. Modelde 3 farklı maliyet girdisi bulunmaktadır;

$C_m$  : Çalışmama maliyeti (Ytl/saat)

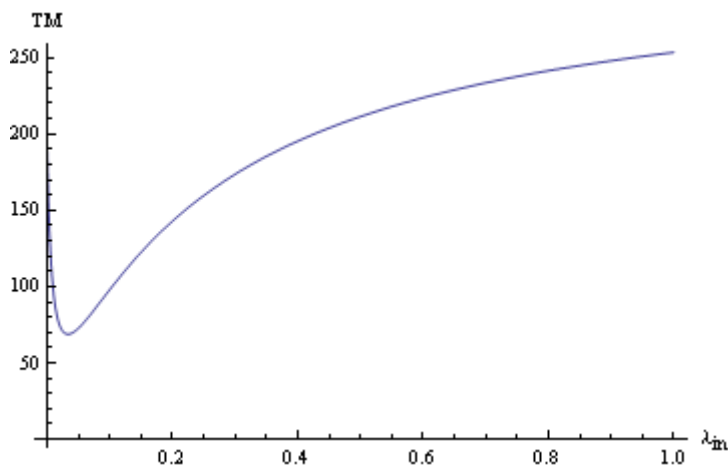
$C_1$  : Onarım maliyeti (Ytl/saat)

$C_2$  : Periyodik bakım maliyeti (Ytl/saat).

Modelin girdileri

$\lambda_d$	$\mu_{in}$	$\mu_m$	$\mu_M$	$C_m$	$C_1$	$C_2$
0.00277	0.5	0.3333	0.0833	200	100	1000

biçiminde alınırsa bu seferde  $\lambda_{in}$  0,03326 bulunur. Başka bir deyişle iki muayene arası süre 30,059 saat olarak bulunur. Elde edilen toplam maliyet -  $\lambda_{in}$  grafiği Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5. Toplam maliyet -  $\lambda_{in}$  grafiği

Her iki seçenek içinde kurulan modeller, yapılan çözümler ve Mathematica 5.2 ile yazılan çözüm kodları EK – D’de verilmiştir.

### 5.2.2. Bulgular

Modelde bir işletmenin TB sistemi ele alınmıştır. Modeldeki amaç kullanıcı şikayetlerini azaltmak, yani sistemin kullanılabilirliğini maksimize etmektir.

Öncelikle model, kullanıcı şikayetleri doğrultusunda her bir şikayetin sistemde yıpranmaya yol açacağı varsayımı ile markov zincirleri ile modellenmiştir. Modelde optimallik değişkeni olarak muayeneler arası ortalama süre ( $\lambda_{in}$ ) alınmıştır. Sistem durumunun muayeneler ile tam olarak ölçülebileceği ön görülmüştür.

Gereğinden sık yapılan muayeneler, sistemin sık sık kesintiye uğramasına, bunun sonucunda da artan muayene ve çalışmama maliyetlerine yol açar. Artan muayene periyodu, arızalar arası sürenin azalmasına yol açarken kullanılan parça maliyetinin artmasına sebep olur. Sistemin normal çalışma maliyetlerine ilaveten muayene, bakım, sarf ve durma maliyetleri ortaya çıkar.

Gereğinden az yapılan muayene ise sistem durumunun izlenmesini zorlaştırır, olası hataların tespiti gecikir ve sistem görevini yerine getiremez. Bu durumda da arızaların ne zaman ortaya çıkacağını öngörmek zorlaşır. Artan durma ve bakım personeli tepki süreleri sonucu ilave gecikme, durma, parça ve bakım maliyetleri ortaya çıkarken aynı zamanda otel müşterilerinin tatminsizliğinin artması sonucu reklamizasyon maliyetini ortaya çıkartır.

Elde edilen model  $\lambda_{in}$ 'e göre çözüldükten sonra, sayısal çözüm için başlangıç değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ortalama 387 dakikada bir muayene yapılırsa kullanıcı şikayetleri en aza inecek ve sistem % 91,8 etkinlikle çalışacaktır.

İşletme TB sistemi altında ikinci olarak, asansör alt sistemi ele alınmıştır. Ana modelle benzer biçimde muayeneler arası ortalama süre kontrol değişkeni olarak ele alınmıştır. Burada hem kullanılabilirlik maksimizasyonu hem de maliyet minimizasyonu için 2 farklı yaklaşım işlenmiştir. Her iki modelde muayeneler arası ortalama süre 29,85 ve 30,059 saat olarak bulunmuştur.

## SONUÇ

Ürün veya hizmet üreten her işletme bu faaliyeti yerine getirmek için kaçınılmaz olarak en azından bir ekipman, makine veya teçhizat kullanmaktadır. Kullanılan her ekipman yıpranır ve gerekli özen gösterilmezse bir süre sonra üretimin aksamasına veya müşteriye taahhüt edilen kalitenin düşmesine sebep olacak arızalar, bozulmalar ortaya çıkar. Bu arızaların giderilmesi onarımın (yani tamir), arıza oluşumunun geciktirilmesi ise bakımın kapsamına girer.

Bakım faaliyetleri ekipman durumunu izleme, yağlama, temizlik gibi kısa süreli ve onarıma göre oldukça düşük maliyetli işlemleri içerir. Bakımın amacı oluşabilecek hataları geciktirmek yani onarıma olan ihtiyacı olabildiğince azaltmaktır.

Bakım öncelikle bir ekipmanı kullanan operatör tarafından günlük temizlik veya gözle kontrolle başlar, bakım departmanı tarafından yapılacak periyodik izlemeler ve kontrollerle devam eder. Yapılan bu düzenli faaliyetlerle ekipman durumu, hata oluşum sıklıkları kayıt altına alınarak, ekipmanın istatistiksel olarak kontrol altına alınmasına ve hata oluşumu dağılımının tespitine dolayısıyla ekipmanın güvenilirliğinin bulunmasında işletmeye yol gösterir.

Bu çalışmada öncelikle bir otel işletmesinin teknik müdürlüğü tarafından yapılan TB faaliyetlerinin genel bir işleyiş şeması ele alınmıştır. TB süreci markov zincirleri yardımıyla modellenerek oluşabilecek hataları ve müşteri şikayetlerini en aza indirmeye yardımcı olacak ortalama muayeneler arası süre tespit edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra TB sistemi içersinden asansör alt sistemi seçilerek hem çalışabilirliği maksimize edecek hem de toplam bakım maliyetini minimize edecek ortalama muayeneler arası süre bulunmuştur.

Modelin amacı işletme yöneticilerine daha etkili bir sistem kurabilmeleri için yol göstermektir. Modelin girdi değişkenleri, gerçek değerlerine daha yakın alınırlarsa modelin performansı artacak ve gerçek sistemi çok daha hassas bir biçimde ölçebilecektir.

Oluşturulan modelin yeterli ölçüm ve kayıt sistemine sahip tüm işletmelerin TB sistemlerinin performansını ölçmek için kullanılabilmesi mümkündür.

Ayrıca modelde maliyet unsuru olarak sadece bakım maliyetleri göz önüne alınmıştır. Kullanılacak yedek parça maliyeti, parçaların kullanım ömürleri, ikinci el veya orijinal yedek parça kullanımı gibi pek çok farklı değişkenin modele eklenmesiyle modelin gerçek hayatı daha iyi yansıtabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Amari S.V., McLaughlin L., “Optimal Design of a Condition-Based Maintenance Model”, Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium – RAMS, (2004), 528-533
- Amari S.V., McLaughlin L., Pham H., “Cost-Effective Condition-Based Maintenance Using Markov Decision Processes”, Reliability and Maintainability Symposium, (2006), 464-469
- Aytemiz T., Şengönül A., “Markov Zincirlerinin Ekonomik Bir Probleme Uygulanması: Perakende Alışverişlerde Bireysel Olarak Kullanılan Madeni Para Stratejilerinin Karşılaştırmalı Analizi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt 6, Sayı 4, (2004), 29-43
- Bektaş Ü., Kandiller L., “Küçük Ölçekli Harekatın Kesik Zamanlı Stokastik Analizi” , SAVTEK 2002, Savunma Teknolojileri Kongresi, (2002), 167–175
- Ben-Daya M., Duffuaa S.O., “Maintenance and Quality: The Missing Link”, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 1, No. 1, (1995), 20–26
- Bateman J.F., “Preventive Maintenance: Stand Alone Manufacturing Compared with Cellular Manufacturing”, Industrial Management, Vol. 37, Iss. 1, (Jan/Feb 1995), 19–21
- Bevilacqua M., Braglia M., “The Analytic Hierarchy Process Applied to Maintenance Strategy Selection”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 70, (2000), 71–83
- Bertolini M., Bevilacqua M., “A Combined Goal Programming – AHP Approach to Maintenance Selection Problem”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, (2006), 839–848
- Birmeç K., Bakım Planlaması, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 1998
- Carnero M.C., “An Evaluation System of the Setting Up of a Predictive Maintenance Programs”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, (2006), 945–963

Cassady C.R., Murdock W.P., Pohl E.A., "Selective Maintenance for Support Equipment Involving Multiple Maintenance Actions", *European Journal of Operational Research*, Vol. 129, (2001), 252–258

Chan G.K., Asgarpoor S., "Preventive Maintenance with Markov Processes", *Proceedings of the 2001 North American Power Symposium*, College Station, TX, (2001), 510-515

Chan G.K., Asgarpoor S., "Optimum Maintenance Policy with Markov Processes", *Electric Power Systems Research*, Vol. 76, (2006), 452–456

Charles A.S., Floru I.R., Azzaro-Pantel C., Pibouleau L., Domenech S., "Optimization of Preventive Maintenance Strategies in a Multipurpose Batch Plant: Application to Semiconductor Manufacturing", *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 27, (2003), 449–467

Chen D., Trivedi K.S., "Closed-Form Analytical Results for Condition-Based Maintenance", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 76, (2002), 43-51

Chen D., Trivedi K.S., "Optimization for Condition-Based Maintenance with Semi-Markov Decision Process", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 90, (2005), 25–29

Cheng C.Y., Chen C., "The Periodic Preventive Maintenance Policy for Deteriorating Systems by Using Improvement Factor Model", *International Journal of Applied Science and Engineering*, Vol. 1, Iss. 2, (2003), 114–122

Christer A.H., Wang W., Sharp J., Baker R., "A Case Study of Modelling Preventive Maintenance of a Production Plant Using Subjective Data", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 49, (1998), 210–219

Chu C., Proth J.M., Wolff P., "Predictive Maintenance: The One-Unit Replacement Model", *International Journal of Production Economics*, Vol. 54, Iss. 3, (1998), 285–295

Dervitsiotis K.N., *Operations Management*, McGraw-Hill International Book Co., Japan, 1981



Dunn S. , “A Framework for Achieving Best Practice in Maintenance”  
www.maintenanceworld.com

Duffuaa S.O., Raouf A., Campbell J.D., Planning and Control of Maintenance Systems: Modelling and Analysis, John Wiley & Sons, Canada, 1999

Duffuaa S.O., Al-Sultan K.S., “Mathematical Programming Approaches for the Management of Maintenance Planning and Scheduling”, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 3, Iss. 3, (1997), 163–176

Eade R., “The Importance of Predictive Maintenance”, Iron Age New Stell, Vol. 13, Iss. 9, (1997), 68–72

Erciş M.S., Tamir – Bakım Planlaması, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 1995

Eti M.C., Ogaji S.O.T., Probert S.D., “Development and Implementation of Preventive-Maintenance Practices in Nigerian Industries”, Applied Energy, Vol. 83, Iss. 10, (2006), 1163–1179

Gallimore K.F., Penlesky R.J., “A Framework for Developing Maintenance Strategies”, Production and Inventory Management Journal, Vol. 29, Iss. 1, (1988), 16–21

Hosseini M.M., Kerr R.M., Randall R.B., “An Inspection Model With Minimal and Major Maintenance for a System with Deterioration and Poisson Failures”, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 49, Iss. 1, (2000), 88–98

Kaya K., Bakım Yönetimi ve Bir İşletmede Toplam Üretken Bakım Modelinin Oluşturulması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2003

Karabulut A., Toplam Üretken Bakım Yönetimi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 1999

Karaoğlan İ., Altıparmak F., Dengiz B., “Tam Zamanında Üretim Sisteminde Bakım Politikalarının Etkisi”, Gazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi, Cilt 22, No 1, (2007), 181-189

Kenne J.P., Gharbi A., «Experimental Design in Production and Maintenance Control of a Single Product Manufacturing System», International Journal of Production Research, Vol. 37, No 3, (1999), p. 621–637

Kısmet K., Tamir ve Bakım Planlaması ve Üretim İşletmelerinde Uygulanması, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2001

Kishan B., Micro-Computer Aided Maintenance Management, Industrial Engineering No:13, Marcel Dekker Inc., New York, 1980

Kobu B., Üretim Yönetimi, İstanbul Üniversitesi İşletme Fak. Yayınları, İstanbul, 1998

Kodalı R., Chandra S., “Analytical Hierarchy Process for Justification of Total Productive Maintenance”, Production Planning and Control, vol. 12, No. 7, (2001), 695–705

Kuruüzüm O., Proses Endüstrisinde Proses Kontrolü Problemine Hedef Programlama ile Yaklaşım ve Alternatif Bir HP Algoritması Önerisinin Bir Uygulama Üzerinde Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 1986

Kwak R., Takakusagi A., Sohn J.Y., Fujii S., Park B.Y., “Development of an Optimal Preventive Maintenance Model Based on the Reliability Assessment for Air-Conditioning Facilities in Office Buildings”, Building and Environment, Vol. 39, (2004), 1141–1156

Lapa C.M.F., Pereira C.M.N.A., Barros M.P., “A Model For Preventive Maintenance Planning by Genetic Algorithms Based in Cost And Reliability”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, Iss. 2, (2006), 233–240

Lin C., Wang H., “Performance Analysis Of Rotating Machinery Using Enhanced Cerebellar Model Articulation Controller (E-CMAC) Neural Networks”, Computers & Industrial Engineering, Vol. 30, Iss. 2, (1996), 227–242

Lin D., Zuo M.J., Yam R.C.M., “General Sequential Imperfect Preventive Maintenance Models”, *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, Vol. 7, No. 3, (2000), 253–266

Marquez A.C., Heguedas A.S., “Models for Maintenance Optimization: A Study for Repairable Systems and Finite Time Periods”, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 75, (2002), 367–377

Marseguerra M., Zio E., “Optimizing Maintenance and Repair Policies via a Combination of Genetic Algorithms and Monte Carlo Simulation”, *Reliability Engineering And System Safety*, Vol. 68, (2000), 69–83

Mobley R.K., *An introduction to predictive maintenance*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990

Nakajima S., *Introduction to TPM*, Productivity Press, Portland, Oregon, 1988

Taşkın M.F., *Önleyici Bakım Politikası Altında Optimum Stok Miktarının Bulanık Mantık Yöntemiyle Belirlenmesi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006

Paz N.M., Leigh W., “Maintenance Scheduling: Issues, Result and Research Needs”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 14, Iss. 8, (1994), 47–69

Pham H., Wang H., “Imperfect Maintenance”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 94, Iss. 3, (1996), 425–438

Pomorski, T.R., *Total Productive Maintenance (TPM) Concepts and Literature Review*, Brooks Automation, Inc, MA, USA, 2004

Rosqvist T., Laakso K., Reunanen M., “Value-Driven Maintenance Planning for a Production Plant”, *Reliability Engineering and System Safety*, (2007)

Ruiz R., Garcia-Diaz J.C., Maroto C., “Considering Scheduling and Preventive Maintenance in The Flowshop Sequencing Problem”, *Computers and Operational Research*, Vol. 34, Iss. 11, (2007), 3314–3330

Seward L.D., *Preventive Maintenance for a Multi-Task System*, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, PhD Dissertation, Virginia, 1998

Sim S.H., Endrenyi J., “Optimal Preventive Maintenance with Repair”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 37, No. 1, (1988), 92–95

Sim S.H., Endrenyi J., “A Failure-Repair Model With Minimal & Major Maintenance”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 42, No. 1, (1993), 134–140

Sortrakul N., Nactmann H.L., Cassady C.R., “Genetic Algorithms for Integrated Preventive Maintenance Planning and Production Scheduling for a Single Machine”, *Computers in Industry*, Vol. 56, (2005), 161–168

Swanson L., “Linking Maintenance Strategies to Performance”, *International Journal of Production Economics*, vol. 70, (2001), 237–244

Tsai Y.T., Wang K.S., Teng H.Y., “Optimizing Preventive Maintenance for Mechanical Components Using Genetic Algorithms”, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 74, (2001), s. 89–97.

Üreten S., *Üretim/İşlemler Yönetimi Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri*, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 1997

Wang H., “A survey of Maintenance Policies of Deteriorating Systems”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 139, Iss. 3, (2002), 469–489

Weil, N.A., “Make the most of Maintenance”, *Manufacturing Engineering*, Vol. 120, No. 5, (1998), 118–124

[www.owl.net.rice.edu/~elec428/handouts/DTMC.pdf](http://www.owl.net.rice.edu/~elec428/handouts/DTMC.pdf), (01.05.2007 10:50)

Yang S.K., Liu T.S., “State Estimation For Predictive Maintenance Using Kalman Filter”, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 66, Iss. 1, (1999), 29–39

-----, 2007, “Bakım Yönetim Sisteminde Temel Yaklaşımlar”, Elektrik Üretim A.Ş., Bakım Yönetim Sistemi Web Sayfası, <http://www.euas.gov.tr/%5FEUAS/bys/>

-----, 1999, “Reliability Centered Maintenance Guide”, USACERL Technical Report 99/41, (Nisan 1999), 1–97

## EK – A

Markov zincirlerinde bir durumdan çıkan akışların toplamı o duruma giren akışların toplamına eşittir. Bu bağıntıdan yola çıkarak her bir durumun olasılığını başlangıç durumu olan  $P(0,0)$  cinsinden yazılmaya çalışılır.

$$1. \quad \begin{aligned} \mu_m P(i,2) &= \mu_{in} P(i,1) \\ \mu_{in} P(i,1) &= \lambda_{in} P(i,0) \end{aligned}$$

buradan

$$\mu_m P(i,2) = \lambda_{in} P(i,0) \text{ elde edilir.}$$

$$\begin{aligned} [\lambda_d + \lambda_{in}]P(k-1,0) &= \lambda_d P(k-2,0) + \mu_m P(k-1,2) \\ [\lambda_d + \lambda_{in}]P(k-2,0) &= \lambda_d P(k-3,0) + \mu_m P(k-2,2) \\ &\vdots \\ [\lambda_d + \lambda_{in}]P(1,0) &= \lambda_d P(0,0) + \mu_m P(1,2) \end{aligned}$$

denklemden  $\mu_m P(i,2) = \lambda_{in} P(i,0)$ ,  $1 \leq i < k$ , dönüşümleri yapılarak taraf tarafa toplanırsa;

$$P(k-1,0) = P(k-2,0) = \dots = P(1,0) = P(0,0)$$

elde edilir.

$$2. \quad \left. \begin{aligned} \mu_m P(1,2) &= \mu_{in} P(1,1) \\ \mu_{in} P(1,1) &= \lambda_{in} P(1,0) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} P(k-1,1) &= \dots = P(1,1) = \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} P(0,0) \\ P(k-1,2) &= \dots = P(1,2) = \frac{\lambda_{in}}{\mu_m} P(0,0) \end{aligned} \quad \text{elde edilir}$$

$$3. \quad \left. \begin{aligned} [\lambda_d + \lambda_{in}]P(n,0) &= \lambda_d P(n-1,0) \\ [\lambda_d + \lambda_{in}]P(n-1,0) &= \lambda_d P(n-2,0) \\ &\vdots \\ [\lambda_d + \lambda_{in}]P(k+1,0) &= \lambda_d P(k,0) \\ [\lambda_d + \lambda_{in}]P(k,0) &= \lambda_d P(k-1,0) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} P(n,0) &= \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} P(n-1,0) \\ P(n-1,0) &= \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} P(n-2,0) \\ &\vdots \\ P(k+1,0) &= \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} P(k,0) \\ P(k,0) &= \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} P(k-1,0) \end{aligned}$$

Sağ taraftaki sadeleştirilmiş denklemler taraf tarafa toplanırsa;

$$P(n,0) = P(k-1,0) \left( \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right)^{n-k} = P(0,0) \left( \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right)^{n-k}$$

elde edilir.

$$P_D \mu_D = P(n,0) \lambda_d$$

$$4. P_D = \frac{\lambda_d}{\mu_D} P(n,0)$$

ve buradan

$$P_D = P(0,0) \frac{\lambda_d}{\mu_D} \left( \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right)^{n-k} \text{ elde edilir.}$$

$$5. P(i,1) = \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} P(i,0) \text{ , } k \leq i \leq n$$

6.

$$P(k,2) = \begin{cases} \frac{\mu_{in}}{\mu_M} [P(k,1) + P(k+1,1) + \dots + P(n,1)] \\ \frac{\mu_{in}}{\mu_M} \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} [P(k,0) + P(k+1,0) + \dots + P(n,0)] \\ \frac{\lambda_{in}}{\mu_M} \left[ \left( P(k-1,0) \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right) + \left( P(k-1,0) \left( \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right)^2 \right) + \dots + \left( P(k-1,0) \left( \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right)^{n-k} \right) \right] \end{cases}$$

burada yazım kolaylığı sağlaması açısından  $a = \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}}$  dönüşümü yapılır.

$$P(k,2) = \begin{cases} \frac{\lambda_{in}}{\mu_M} P(0,0) [a + a^2 + \dots + a^{n-k}] \\ a \frac{\lambda_{in}}{\mu_M} P(0,0) [1 + a + \dots + a^{n-k-1}] \end{cases}$$

$$\sum_{k=0}^{n-1} r^k = \frac{1-r^{n-1}}{1-r} \text{ dizi toplam formülü için;}$$

$$P(k,2) = a P(0,0) \frac{\lambda_{in}}{\mu_M} \frac{1-a^{n-k}}{1-a} \text{ olarak bulunur.}$$

## EK – B

Bir markov zincirindeki tüm olasılıkların toplamı 1 olacağı için:

$$P(0,0) + [P(1,0) + \dots + P(k-1,0)] + [P(1,1) + \dots + P(k-1,1)] + [P(1,2) + \dots + P(k-1,2)] + [P(k,0) + \dots + P(n,0)] + [P(k,1) + \dots + P(n,1)] + P(k,2) + P_D = 1$$

denklemini elde edilir. EK – A'daki dönüşümler yukarıdaki denkleminde yerine konursa:

$$P(0,0) + P(0,0)(k-1) + \underbrace{\frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} [P(1,0) + \dots + P(k-1,0)]}_{\frac{\lambda_{in} P(0,0)(k-1)}{\mu_{in}}} + \underbrace{\frac{\lambda_{in}}{\mu_m} [P(1,0) + \dots + P(k-1,0)]}_{\frac{\lambda_{in} P(0,0)(k-1)}{\mu_m}} + aP(0,0) \frac{1-a^{n-k}}{1-a} + aP(0,0) \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} \frac{1-a^{n-k}}{1-a} + aP(0,0) \frac{\lambda_{in}}{\mu_M} \frac{1-a^{n-k}}{1-a} + P(0,0) \frac{\lambda_d}{\mu_D} a^{n-k} = 1$$

ve buradan da  $P(0,0)$  başlangıç durumu diğer durumlara bağlı olarak elde edilir.

Amaç fonksiyonumuz

$$f = \text{Kullanılabilirlik} = P(0,0) + \sum_{i=1}^n P(i,0)$$

olduğu için çözüm için  $\frac{\partial f}{\partial \lambda_{in}}$  kısmi türevi alınarak 0'a eşitlenir.



## EK – C

Başlangıç değerleri ile modelin çözümü için Mathematica 5.2 ile yazılan kod aşağıdadır.

```

num = {k → 4, n → 7, Lambda[d] → 0.001, Mu[in] → 0.5,
      Mu[n] → 0.05, Mu[M] → 0.01, Mu[D] → 0.01};
P[0, 0] =
  1 / (k + (Lambda[in] / Mu[in]) * (k - 1) +
      (Lambda[in] / Mu[n]) * (k - 1) +
      a * ((1 - a ^ (n - k)) / (1 - a)) +
      (Lambda[in] / Mu[in]) * a * ((1 - a ^ (n - k)) / (1 - a)) +
      (Lambda[in] / Mu[M]) * a * ((1 - a ^ (n - k)) / (1 - a)) +
      (Lambda[d] / Mu[D]) * a ^ (n - k));
R = P[0, 0] * (k + (a * (1 - a ^ (n - k)) / (1 - a))) /.
  a → Lambda[d] / (Lambda[d] + Lambda[in]) /. num;
eq = D[R, Lambda[in]] == 0;
Solve[eq, Lambda[in]]

```

## EK – D

Modelin durağanlık denklemlerini çıkartırsak:

$$P(1,0)[\lambda_d + \lambda_{in}] = P(1,2)\mu_m + P(0,0)\lambda_d$$

$$P(2,0)[\lambda_d + \lambda_{in}] = P(2,2)\mu_m + P(1,0)\lambda_d$$

$$P(3,0)[\lambda_d + \lambda_{in}] = P(2,0)\lambda_d$$

$$P(i,1)\mu_{in} = P(i,0)\lambda_{in}$$

$$P(i,2)\mu_m = P(i,1)\mu_{in}$$

$$P(3,2)\mu_M = P(3,1)\mu_{in}$$

$$\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^2 P(i, j) = 1$$

Burada gerekli çözümler yapırsa aşağıdaki kısaltımlar elde edilebilir:

$$P(1,0) = P(2,0) = P(0,0)$$

$$P(3,0) = P(0,0) \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}}$$

$$P(i,1) = P(i,0) \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} \quad 1 \leq i \leq 3$$

$$P(i,2) = P(i,0) \frac{\lambda_{in}}{\mu_m} \quad 1 \leq i \leq 3$$

$$P(3,2) = P(0,0) \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}}$$

Tüm durumların toplamı 1 olduğu için yukarıdaki kısaltımların yardımıyla  $P(0,0)$  olasılığı elde edilir;

$$P(0,0) = 1 / \left[ 3 + \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} + 3 \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} + 2 \frac{\lambda_{in}}{\mu_m} + \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} \right]$$

*Modelin maksimum kullanılabilirlik için çözümü*

Kullanılabilirlik sistemin herhangi bir şikayet olmadan çalışması olarak düşünülürse kullanılabilirlik fonksiyonu  $\sum_{i=0}^3 P(i,0)$  olarak formülize edilebilir ve

$$\text{Kullanılabilirlik} = f = P(0,0) \left[ 3 + \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right]$$

olarak tanımlanır. Modelin çözümü için  $\frac{\partial f}{\partial \lambda_{in}} = 0$  kısmi türevi alınır.

$\lambda_d$	$\mu_{in}$	$\mu_m$	$\mu_M$
0.00277	0.5	0.3333	0.0833

Başlangıç değerleri için Mathematica 5.2 ile yazılan kod aşağıdadır.

```

num = {λd → 0.00277, μm → 0.3333, μin → 0.5, μM → 0.0833};
P[0, 0] = 1 / ( 3 +  $\frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}}$  + 3  $\frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}}$  + 2  $\frac{\lambda_{in}}{\mu_m}$  +  $\frac{\mu_{in}}{\mu_M}$  *  $\frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}}$  );
A = P[0, 0] * ( 3 +  $\frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}}$  ) /. num;
eq = D[A, λin] == 0;
Solve[eq, λin]

```

## 2. Minimum maliyet için modelin çözülmesi

Maliyet minimizasyonu için aşağıdaki maliyet fonksiyonu elde edilir;

$$\text{Toplam Maliyet} = f = C_m [P(1,1) + P(1,2) + P(2,1) + P(2,2) + P(3,1) + P(3,2)] + C_1 \mu_m [P(1,2) + P(2,2)] + C_2 \mu_M P(3,0)$$

Toplam maliyeti minimize edecek optimal muayeneler arası sürenin tespiti için maliyet fonksiyonunun  $\lambda_{in}$ 'e göre kısmi türevi alınarak 0'a eşitlenir.

$\lambda_d$	$\mu_{in}$	$\mu_m$	$\mu_M$	$C_m$	$C_1$	$C_2$
0.00277	0.5	0.3333	0.0833	200	100	1000

Başlangıç değerleri için Mathematica 5.2 ile yazılan kod aşağıdadır.

```
num = {λd → 0.00277, μm → 0.3333, μin → 0.5, μM → 0.0833,
c1 → 100, c2 → 1000, cm → 200};
```

$$P[0, 0] = 1 / \left( 3 + \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} + 3 \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} + 2 \frac{\lambda_{in}}{\mu_m} + \frac{\mu_{in}}{\mu_M} * \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right);$$

c<sub>s</sub> =

$$c_m \left( 3 * P[0, 0] * \frac{\lambda_{in}}{\mu_{in}} + 2 * P[0, 0] * \frac{\lambda_{in}}{\mu_m} + P[0, 0] * \frac{\mu_{in}}{\mu_M} \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right) + c_1 * \mu_m \left( 2 * P[0, 0] * \frac{\lambda_{in}}{\mu_m} \right) + c_2 * \mu_M \left( P[0, 0] * \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{in}} \right) /. num;$$

```
eq = D[cs, λin] == 0;
```

```
Solve[eq, λin]
```

## Ö Z G E Ç M İ Ş

Adı ve SOYADI : Ömür TOSUN

Doğum Tarihi ve Yeri : 22.04.1980, Kaş

Medeni Durumu : Evli

### **Eğitim Durumu**

Mezun Olduğu Lise : Antalya Anadolu Lisesi

Lisans Diploması : Dokuz Eylül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Konusu : Tamir – Bakım Planlaması ve Bir Uygulama

Yabancı Dil : İngilizce

### **İş Deneyimi**

2005 – : Akdeniz Üniversitesi SBE, Araştırma Görevlisi, ANTALYA

Adres : Akdeniz Üniversitesi, İİBF İşletme Bölümü, Kampus, ANTALYA

Tel. no : 242 3106418