

**BİR MAKİNANIN GÜVENİRLİĞİNİN TEHLİKE FONKSİYONU VE
MARKOV ZİNCİRİ MODELİYLE ANALİZİ**

M. İLKER ÇÖLOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı

HAZİRAN, 2006

**THE ANALYSIS OF A MACHINE RELIABILITY WITH HAZARD FUNCTION
AND MARKOV CHAIN MODEL**

M. İLKER ÇÖLOĞLU

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

June, 2006

**BİR MAKİNANIN GÜVENİRLİĞİNİN TEHLİKE FONKSİYONU VE
MARKOV ZİNCİRİ MODELİYLE ANALİZİ**

M. İLKER ÇÖLOĞLU

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Haziran,2006

M. İlker ÇÖLOĞLU'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Bir Makinanın Güvenirliğinin Tehlike Fonksiyonu ve Markov Zinciri Modeliyle Analizi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Haydar ARAS
(Makine Müh. A.D.)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aykut ARAPOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Günümüzde yönetim, planlama ve bakım faaliyetleri her çeşit organizasyonun en temel ihtiyacı olmaya devam etmektedir. Günden güne gelişen teknolojik girdiler, bilgi sistemleri ve akademik araştırmalar, yöneticilere daha doğru ve etkin kararların nasıl verilebileceğini, en etkili planlamaların nasıl yapılabileceğine dair cevaplara ışık tutmaya çalışmaktadır. Toplam Kalite Yönetimiyle başlayan yeni yönetim modelleri, kaynakların en etkin şekilde kullanılmasını, üretimde ve bakımda insan faktörünün gücünü, iyi bir planlamanın faydalarını, inancın performansa olan olumlu katkılarını, bilimsel metodolojilerin sunduğu inkar edilemez gerçekler altında birleştirmeyi başarmıştır. Üretim faaliyetlerini destekleyen faaliyetler arasında bulunan bakım faaliyetleri de bu yeni yönetim tarzlarıyla birlikte bir kez daha hak ettiği değere kavuşmuştur. Üretim esnasında istenmeyen duruşların ortaya çıkması, işletmelerde zaman zaman geri dönülemeyecek kayıplara yol açabilmektedir. Belirtilen sebepler, bakım faaliyetlerine ve yöntemlerine her zaman gereken önemin verilmesini ve göz ardı edilmemesini gerektirmektedir. Bu çalışmada Toplam Kalite yolcuğuyla başlanan yeni tarz yönetim modelleri ve geçmişten günümüze kadar gelen bakım yöntemleri incelenerek, özellikle havacılık sektörünün en temel problemlerinden birisini oluşturan bakım planlamalarının değerlendirilmesine yönelik, Markov zinciri ve güvenilirlik (Tehlike Fonksiyonu) analizi uygulaması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Toplam kalite yönetimi, toplam üretken bakım, güvenilirlik odaklı bakım, Markov zinciri, Tehlike (Hazard) fonksiyonu, havacılık bakımı.

SUMMARY

Nowadays maintenance activities, planning and management are still continue to be the basic need of every organization. Information systems, academic researches and improving technological inputs enlight the way for managers to make more effective and true decisions. The new styles of management models, starts with Total Quality Management, have combined the effective use of resources, the effect of human factor on production and maintenance, profits of good planning and the effect of belief with scientific methodologies by an undeniable truths. Maintenance activities, which one of the activities of supporting the production, have merited his own worth once more, by these new styles of management models. In the course of production sometimes, undesirable cessations harms the enterprises via unreturnable losses. Therefore, enterprises have to pay attention for maintenance activities without disregarding. In this study, a short application of Markov Chain and reliability(Hazard Function) analysis of one main problem about aviation maintenance planning, including the survey of maintenance history from past to today and a new styles of management models, leading with with Total Quality Management, has accomplished.

Key words: Total Quality Management, total productive maintenance, reliability centered maintenance, Markov chain and Hazard Function analysis, aviation maintenance.

TEŞEKKÜR

Tez sürecinde bana yol gösteren, alıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Nimetullah BURNAK'a; ve bilgi yardımını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Aykut ARAPOğLU'na teőekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, çalıőmam sırasında ilgi, özveri ve desteğini hiç esirgemeyen eőime en içten sevgi ve teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. TOPLAM KALİTE YAKLAŞIMI	3
2.1. Toplam Kalite Anlayışı	3
2.2. Toplam Kalite Yönetimi	4
2.3. Toplam Kalite Yönetiminin Temel Kuralları	6
2.4. Toplam Kalite Yönetimi Anlayışının Oluşturulması	7
2.5. Toplam Kalite Yönetimi ve Verimlilik	14
2.6. Toplam Kalite Yönetimi ve Bakım	15
3. BAKIM FAALİYETLERİ	17
3.1. Faaliyetlerinin Zaman İçindeki Değişimi	17
3.2. Arızı Bakım	21
3.3. Koruyucu Bakım	21
3.4. Üretken Bakım	22
3.5. Toplam Üretken Bakım	23
3.6. Kestirimci Bakım	25
3.7. Güvenirlik Odaklı Bakım	25
3.7. Güvenirlik Odaklı Bakımdaki “Güvenirlik”	31

İÇİNDEKİLER(Devam)

Sayfa

3.8. Güvenirlik ve Tehlike Fonksiyonları	32
3.9. Sabit Tehlike.....	38
4. MARKOV SÜRECİ.....	41
4.1. Markov Sürecinin Tanımı.....	41
4.2. Markov Özelliği ve Markov Süreci	41
4.3. Markov Zinciri.....	42
4.4. Markov Zincirinde Durumlarının Sınıflandırılması.....	44
4.5. Uzun Dönem Olasılıklar ve Geçiş Olasılıkları	45
4.6. İlk Geri dönüş ve Beklenen Tekrarlanma Süresi	47
4.7. Markov Zinciri Uygulamaları	48
5. BAKIM PLANLAMASI ANALİZİ UYGULAMASI.....	50
5.1. Havacılık Sektörü ve Bakım Uygulamaları.....	50
5.2. Uygulamanın Yapıldığı “R” Atölyesinin Tanıtımı	52
5.3. İşletmede Uygulanan Bakım Yöntemleri.....	53
5.4. Kabuller ve Çözüm Yaklaşımı.....	56
5.5. Durumların Belirlenmesi	58
5.6. Başlangıç Geçiş Olasılığı ve Başlangıç Geçiş Matrisi	59
5.7. Arızalar Arası Geçiş Olasılığı ve Matrisi.....	60
5.8. Uzun Dönem Olasılıkları ve Beklenen Tekrarlanma Sürelerinin Belirlenmesi.....	62
5.9. Tehlike Fonksiyonu Kullanarak Sistemin Güvenirliğinin Belirlenmesi.....	63
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	68
EKLER	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Yeni Yönetim Modeli.....	12
2.2 Kalite İyileşmesinin Etkileri	13
2.3 TKY Şemsiyesi	15
3.1 Geçmişten Bugüne Bakım Yöntemleri.....	18
3.2 Genel Arıza Dağılımları	28
3.3 Bakım Terimleri Haritası (August,1999).....	29
3.4 Genel Arıza Eğrisi.....	37
3.5 $h(t)$ ve $f(t)$ 'nin Grafiği	39
3.6 $F(t)$ ve $R(t)$ 'nin Grafiği.....	39
5.1 “R” Sistemi Parçaları	53
5.2 Arıza Arama Diyagramı.....	55
5.3 Durumlar Arası Geçiş Diyagramı	58
5.4 Başlangıç Durum Olasılıkları Matrisi.....	60
5.5 Arızalar Arası Geçiş Olasılıkları Matrisi	61
5.6 Arızalar Arası Uzun Dönem Geçiş Olasılıkları.....	62
5.7 Verilerin Tehlike Oranı Grafiği	64
5.8 Verilere Göre Ortaya Çıkan Güvenirlik Grafiği.....	64

TABLolar DİZİNİ**Tablo****Sayfa**

2.1 Eski ve Yeni Yönetim Modelleri.....	11
--	-----------

KISALTMALAR

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
A.B.D	Amerika Birleşik Devleti
ARCM	Applied Reliability Centered Maintenance Güvenirlilik Merkezli Bakım Uygulaması
AR-GE	Araştırma ve geliştirme
BK, (MP)	Bakım Koruması, (Maintenance Preventive)
CMMS	Computerized Maintenance Management System Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemi
CNM	Condition Monitoring, Koşul İzleme
DB, (CM)	Düzeltilici Bakım, (Corrective Maintenance)
DoB, (OCM)	Durum odaklı bakım, (On-Condition Maintenance)
EPRI	Electric Power Research Institute Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü
FAA	Federal Aviation Administration Federal Havacılık İşletmesi
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis Hata Durumu ve Etkileri Analizi
GOB, (RCM)	Güvenirlilik Odaklı Bakım, (Reliability Centered Maintenance)
HAA, (FTA)	Hata Ağacı Analizi, (Fault Tree Analysis)
İDS	İkmal Dağıtım Sistemi
JIPM	Japanese Institute of Productive Maintenance Japon Üretken Bakım Enstitüsü

KB, (PM)	Koruyucu Bakım, (Preventative Maintenance)
KsB, (PdM)	Kestirimci Bakım, (Predictive Maintenance)
YBM,(LCC)	Yaşam Boyu Maliyet, (Life Cycle Cost)
DP, (LRU)	Değiştirilebilir Parça, (Line Replacable Unit)
YvA, (MoB)	Yap veya al, (Maintain or Built)
RAÖ, (MORT)	Risk Ağacı Ölçümü, (Measurement Of Risk Tree)
ÇB, (NSM)	Çizelgelenmemiş Bakım, (No Sheduled Maintenance)
OG, (CS)	Ortak Görüş, (Common Sense)
ÖB	Önleyici bakım
ÖBO,(PMO)	Önleyici Bakım Eniyilemesi, (Preventative Maintenance Optimization)
R Sistemi	Uçakta bulunan önemli bir sistem
SRCM	Straight Reliability Centered Maintenance Doğrudan Güvenirlik Merkezli/Odaklı Bakım
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
TÜB, (TPM)	Toplam Üretken Bakım, (Total Productive Maintenance)
UGOB	Uyarlanmış Güvenirlik Odaklı Bakım
vb.	ve benzerleri
ZTB, (TBM)	Zaman temelli bakım , (Time – Based Maintenance)
3M	Malzeme , Metot , Makine

1. GİRİŞ

Günden güne gelişen ve büyüyen dünya ekonomisi beraberinde birçok sıkıntıyı getirmektedir. Rekabet ortamlarının artması, geleneksel yöntemlerin yerini gelişmeye ve değişime açık yöntemlere bırakması, daha karmaşık ve içice girmiş organizasyonların ortaya çıkması, planlamanın ve kapasite kullanımının etkilerini daha çok hissedilir hale gelmesi, bu sıkıntılardan bazılarıdır.

Yeryüzünün doğal kaynaklarının sonsuza kadar varolamayacağı değerlendirilirse bir takım kaynak temini sıkıntılarının da gelecekteki problemler arasında olacağı açıktır. Diğer yandan üretim faaliyetleri devam etmek zorundadır. İşletmelerin bu darboğazlardan en az etkiyle kurtulabilmek en temel arzudur. Fakat bunu başarmak kolay değildir. Çünkü artık sadece iyi bir planlama ve teknolojik girdiler bunu başarabilmek için yeterli değildir.

İnsan faktörü gerek planlama, gerekse üretim yönteminin belirlenmesinde en temel yol gösterici, teknolojiyi yaratıp geliştiren de olsa bazen yeterli olmayabilir. Bunun sebebi, her insanın aynı özelliğe sahip olmayışıdır. Üretim sektöründe süreç tasarımı yapanlar, o süreci bizzat kullananlar olmayabilir. İşte bu noktada nitelikli iş gücünün ve insan faktörünün önemi ortaya çıkmaktadır.

İnsanoğlu yaşamı boyunca, çevresiyle oluşan etkiler sayesinde sürekli olarak kendini eğitir ve geliştirir. Fakat bazı durumlar da bu doğal eğitim yeterli olmamaktadır. Günümüzün zor koşulları da bir takım mesleki eğitimlerin alınmasını gerektirmektedir. Toplam Kalite Yönetimi (TKY) eğitimi öncelikli olmak üzere diğer ilgili eğitimler alınmalıdır. TKY ikinci bölümde ele alınmıştır.

Üretim süreci için gerekli girdilerin etkin kullanılmasının yanı sıra üretimi yapan sisteminde bir takım ihtiyaçlarının karşılanması kaynak kullanımının içerisinde yer almaktadır. Kullanılan ekipmanın bakımı ve onarımı, üretim maliyetlerinde doğrudan

etkiye sahiptir. Belirtilen nedenle bakım faaliyetlerinin de üretim süreçleri kadar önemli olduğu gerçeği asla göz ardı edilmemelidir.

Toplam Üretken Bakım kavramıyla hak ettiği değere kavuşmaya başlayan bakım yöntemleri, zaman içerisinde kendini geliştirmeye devam ederek günümüzde bilimsel yöntemlerle belirlenmiş sağlam temellere ulaşmıştır. Bilimsel temellere sahip olmanın yanı sıra güvenilir olması da bakım ve üretim faaliyetlerinin en temel koşullarından birisidir. Güvenirlilik Odaklı Bakım bu iki hususu benimsemiş yöntemlerden bir tanesidir. Bakım faaliyetleri, bu çalışmanın üçüncü bölümünü oluşturmuştur.

Bakım planlamasının ve güvenilirliğinin önemi en çok havacılık sektöründe karşımıza çıkmaktadır. İnsan hayatının direkt olarak etkilenebileceği ve telafisi mümkün olmadığından havacılık sektörü hata kabul edemez. Bu yüzden havacılık sektöründe yapılacak olan bakım her türlü faaliyeti hak ettiği önem ve sahip olması gereken güvenirlilikte yapılmalıdır. Bu faaliyetler yapılırken ve planlanırken bir takım yaklaşımlar kullanılmaktadır. Kullanılan yaklaşım Markov Zinciridir. Markov zinciri sadece bakım planlamalarında değil sağlık sektöründen meteorolojiye kadar bir çok farklı sektörde çeşitli analizlerde kullanılmaktadır. Bakım planlaması yaklaşımlarında da kullanılan Markov Zinciri Dördüncü bölümde ele alınmıştır.

Günümüzde hiçbir işin düzgün temellere oturtulmadan yapılamayacağını ve gerek askeri, gerekse sivil sektörün asla uzak duramayacağı Toplam Kalite bilincinin de bütün bu bakım faaliyetleriyle ayrılmaz bir bütün halinde olduğu gözlemlenmiştir. Uygulama olarak askeri havacılık sektöründe faaliyet gösteren R sistemine ait bakım faaliyetleri ele alınmıştır. 22. yüzyılda hala arızı bakım yöntemlerini uygulayan bu atölyede, Markov zinciri ve Tehlike(Hazard) fonksiyonu kullanılarak analiz yapılmış ve beşinci bölümde verilmiştir.

Analiz sonucunda ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilerek, işletmeye daha etkin ve güvenilir bakımın nasıl yapılabileceği konusunda görüş ve öneriler altıncı bölümde sunulmuştur.

2. TOPLAM KALİTE YAKLAŞIMI

Toplam Kalite Yönetiminin nasıl ortaya çıktığı, genel özellikleri, diğer yönetim modellerinden farkları, temel kuralları ve bakım faaliyetleriyle olan ilişkileri bu bölümde anlatılmaktadır.

2.1. Toplam Kalite Anlayışı

Tarih boyunca insanoğlu, hep daha iyiyi, ve daha mükemmeli bulma yolunda, önemli ve büyük adımlar atmıştır. Atılan adımlardan bazıları, bir çağı kapatmış, yeni bir çağı başlatmış, bazıları ise, insanoğlunun hayatta kalma mücadelesine katkılarda bulunmuştur. Fakat, insanoğlunun karşısına çıkan en temel problem ise, en doğruyu nasıl bulacağıyla ilgili olmuştur. İnsanoğlunun kendine sorduğu, bu sorulardan dolayı bilim, ve bununla ilişkili kavramlar ortaya çıkarak insanlara yol göstermiştir.

Bilimsel Yönetim modeli temellerinin F.W. TAYLOR tarafından oluşturulduğu dönemlerden, bugüne kadar pek çok yönetim teorisi ileri sürülmüştür. Bu teorilerin kullanım alanları çok farklı olabildiği gibi, gerek devlet yönetimi, gerekse küçük ölçekli işletmelerde uygulanmış ve olumlu sonuçlar gözlenmiştir. Bütün bu gelişmeler ışığında, insanoğlunun daha iyiyi arama sevdası hiç bitmemiş, ve daha iyiyi ararken ortaya çıkan, yeni bir akım olan Toplam Kalite Yönetimi (TKY) işletmelerin gündeminde yerini almıştır.

Gelişmeler bu kadarla da sınırlı kalmamıştır. Veri analizi çalışmaları sonucunda bir takım modelleme yaklaşımları da ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunluğu hata analizlerinin nasıl yapılabileceği konusunda yoğunluk arz etmiştir. Bu sayede Markov zinciri ve benzetim modeli gibi yaklaşımlar kabul görmüştür.

Kalitenin sözlük anlamı incelendiğinde, nitelik, değerlilik yani bir şeyi başka şeylerden ayıran özellik olduğu görülmektedir. TKY'nin ne anlama geldiği incelendiğinde, sözlük anlamında da açıklandığı gibi, kendini diğer yönetim modellerinden ayırarak, daha farklı ve katılımcı bir yapı ile, sürekli gelişmenin

yardımıyla en iyi ürün veya hizmeti vermek olduğu görülmüştür. Bu anlamda Taguchi de kaliteyi, “Ürünün müşterinin eline geçtiği andan itibaren vermiş olduğu zararın minimum seviyede olmasıdır” şeklinde tanımlamaktadır. TKY’nde amaç kaliteli ürünleri üretebilecek bir yönetim tarzının oluşturulması olduğuna göre bunun bütün taraflar tarafından benimsenmesi gerekir, zira kalite, ne imal edene, nede mal veya hizmeti satın alana, bir zarar vermediği gibi, aksine fayda getirmektedir. Peki bu ürün veya hizmetten en büyük faydayı sağlamak için ne yapılmalıdır? Sorunun cevapları “Toplam Kalite Yönetimi”ndedir. TKY bir yolculuktur, varılacak bir yer değildir(Kovancı,1999).

2.2. Toplam Kalite Yönetimi

Toplam Kalite Yönetimi anlayışı, temelde yeni bir kültür ve felsefeyi gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla bu yaklaşım, örgüt kültürü ve örgütteki yönetim felsefesi ile yakından ilgilidir(Şişman,1997). İshikawa'ya göre; bireylerin ihtiyaçlarının karşılandığı, kendilerini gerçekleştirdikleri, iletişimin rahatlıkla kurulduğu yeni yönetim anlayışına TKY denmektedir(Doğan, 2002).

Toplumsal bir kurumun ürün ve hizmetlerinden faydalanan bireyler için, kalite çok önemlidir. Kalite, üretilen mal ve hizmetlerin fiziki kalitesini, verimlilik düzeyini, güvenilirliğini ve bunları üretmek için kaynakların en rasyonel şekilde kullanımını içerir(Yapıcı,2004).

Dolayısıyla kalite ve üretim, ayrılmaz kavramlar haline gelmiştir. Üretim oluşuncaya kadar bir çok faktörden etkilenmektedir, fakat bunlar temel olarak ayrılırsa iki ana unsur çıkmaktadır. Bunlardan birincisi; Teknoloji, diğeri ise İnsan faktörüdür.

Bir üretimin olacağı en basit tesisler bile kurulurken teknoloji faktörünü içerir. Zira üretim hattının nasıl olacağı, nereye tesis edileceği, hammadde veya yarı mamullerin nereye konuşlanacağı, üretim hattına nereden gireceği, kullanılacak makinelerin neler olacağı gibi sorunların cevapları teknolojik gelişmeler doğrultusunda

değişir. Günümüzde birbirleriyle yarışan rakip firmaların teknolojileri hemen hemen aynı olduğu görülebilir.

Diğer faktör olan İnsan ise eşit teknolojik ve sistematik özelliklere sahip olan rakip firmalardan hangisinin daha başarılı olacağını gösteren en temel özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsan faktörü her zaman başarıyı getirmez bazen de başarısızlığın temelinde o yer alır. Öyleyse insan faktörünün etkileri daha dikkatli incelenmelidir. Piyasalarda bir işte çalışacak bir kişi aranırken, istenen özellikler itibarıyla kalifiye veya vasat işçi kavramları ortaya çıkar. Günümüzde ideal işçi; sadece kendisinden istenen işi, istenen sürede ve standartlarda yapabilen, değil o işe değer katabilecek düşünceye sahip kişiler olarak tanımlanmalıdır.

Dolayısıyla İnsan faktörünün bütün faktörlerden daha önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. TKY'nin temelinde de zaten insan yer almaktadır. TKY'ne göre bütün bir organizasyonun kalitesi o sistemin en küçük parçasının kaliteye ne kadar önem verdiğiyle veya ürüne ne kadar değer kattığıyla direkt ilgilidir.

Farkı yaratanın insan olduğunu kabul eden ve toplam kalite anlayışı çerçevesinde, çalışanların sahip olduğu potansiyeli firma çıkarları doğrultusunda kullanmayı amaç edinen sisteme, "Toplam Kalite Yönetimi" denir (Kavrakoğlu,1993).

Günümüzde süreçlerinde veya sistemlerinde iyileştirme yapmak isteyen organizasyonlara, önce TKY incelemeleri gerektiği söylenir. TKY, işletmelerde oluşan bir çok sorunu ortadan kaldırabilmek ve daha iyi bir model oluşturmak içindir. TKY'nin temelleri ve anlayışı ilerleyen bölümlerde genel olarak açıklanacaktır.

2.3. Toplam Kalite Yönetiminin Temel Kuralları

TKY anlayışının temelinde doğru ihtiyaçlara tam olarak cevap verebilen kaliteli, ekonomik ürünler üretebilmeyi ve bu süreci kesintiye uğratmadan, devamlı iyileştirerek mükemmelere ulaşabilmeyi hedefleyen bir yönetim anlayışı vardır. Eğer kalite, denetimin değil, üretimin içindeyse ve eğer kalite, ürüne ve servise bağlıysa o zaman kalite, yönetimin bir fonksiyonudur.(Kavrakoğlu,1993). Her fonksiyonda olduğu gibi burada da bir takım değişkenler ve sonuçlarında ortaya çıkan bir değerler zinciri vardır.

Toplam Kalite Yönetiminin etkilendiği bazı davranışlar ve düşünce biçimleri mevcuttur. Bütün bunlar TKY'nin başarısını etkileyen faktörler olarak karşımıza çıkar.

Bu faktörlere örnek olarak;

1. İnanç ve eğitim,
2. Üst yönetimin isteği, katılımı ve örnek olması,
3. Bütün çalışanların katılımı ve isteği,
4. Kalitenin oluşturulması, iyileştirilmesi,
5. Hataların önlenmesi,
6. Kalitenin izlenmesi, değerlendirilmesi,
7. Sıfır zincirinin (sıfır hata, sıfır stok, sıfır süre, sıfır arıza) oluşturulması

verilebilir.

Sonuçlar iyileştikçe, ana hedeflere doğru odaklanmalar artacak ve sıfır zinciri kendiliğinden oluşacaktır. Sonuç olarak, dikkatli ve doğru yapılan işler sayesinde sıfır hata oluşur. Güvenilir planlamalar sayesinde, tam zamanında ve stok yaratmadan üretime geçilir. Yeni yapıda, doğru tesis edilen iletişim sayesinde boşa bekleme zamanlarının ortadan kaldırılarak sıfır süre elde edilir. Bütün bu emeği boşa çıkarmamak ve planlamaları aksatmamak uğruna, iyi analiz edilmiş, doğru bakım politikaları sayesinde, sıfır beklenmedik arıza temin edilerek kalite yönetilir.

2.4. Toplam Kalite Yönetimi Anlayışının Oluşturulması

Yukarıdaki bölümlerde de açıklandığı gibi TKY'ni temelde insanın varolanı kullanarak mevcuttan daha iyi bir mevcuda doğru yapmaya çalıştığı bir yolculuktur. Ancak her yolculukta olduğu gibi bu yolculukta da bir takım engeller ve zorluklarla karşılaşmak kaçınılmazdır. Bunların üstesinden gelebilmek için birtakım aşamalar belirlenmiştir. Aşamaların iyi anlaşılaraq başarıyla tamamlanmasından sonra artık o organizasyonda TKY başlamış olur. İzleyen paragraflarda aşamalar kısaca tanıtılacaktır.

1. Aşama: Yöneticilerin ikna edilmesi: Üst yönetim, her zaman bir işletmenin başarısı veya başarısızlığında önemli rol oynar. Çünkü, politikaları, yönergeleri, ücretleri, ürünleri, pazarları, pazar stratejilerini ve fiyatları üst yönetim belirler ve/veya onaylar. Bu yüzden TKY'ne geçişte üst yönetimin işin içine girmesi ve onu sahiplenmesi gerekir.

Liderler, sınırlanmış bir dünyanın limitleri ötesinde düşünen insanlardır. Yöneticiler ise faaliyet sınırları belirlenmiş kişilerdir. Başarılı bir TKY uygulaması için yöneticilerin, sınırları dışına çıkabilmeleri, yöneticilik özelliklerine ek olarak liderlik vasıflarını da kullanmaları gerekir (Bowles, 1992).

2. Aşama: Kalite organizasyonunun oluşturulması: Üst yönetim tarafından son şekli verilen genel amaçlar, direkt olarak sonuçlara hükmedemez. Bunların sonuç vermesi için önce harekete geçirilmeleri gereklidir (Kovancı, 1999) .

Bahsedilen sebeplerden dolayı, öncelikle kalite programı, politikası, strateji, aksiyon planları, kalite yönlendirme kurulu, kalite iyileştirme grupları, süreç iyileştirme grupları yani yeni örgüt yapısı oluşturulmalıdır. Belirlenen amaçlar, ne kadar çok kişi tarafından benimsenirse TKY'ne geçiş de o kadar kolaylaşır.

Üst yönetimin aldığı kararlar, kısa sürede, hiyerarşik yapının her kademesine aktarılmalıdır. Söz edilen durum ancak iyi bir iletişimle sağlanabilir. Her işletmenin farklı bir yapısı ve düzeni olmasından dolayı bu yeni atik ve düşünen yapının oluşturulması hiç de kolay değildir, ancak bunun başka bir yolu olmadığı için bu yapı zamanında ve doğru olarak planlanmalı ve uygulamaya koyulmalıdır.

3. Aşama : Yöneticilerin eğitimi : Başarılı ve sürekli bir TKY için güçlü ve iyi tasarlanmış eğitim stratejileri oluşturulmalı ve bunun her seviyede geliştirilmesi gereklidir. Bu eğitimlerin odak noktası her düzey yöneticilerdir. Zira kalite faaliyetlerine öncülük etme mücadelesi, onların omuzlarına yüklenmiştir. Bu sayede ortak bir dil oluşturularak, fikir birliği sağlanır. İstenilen eğitimin konuları, izleyen ana başlıklardaki gibi olması önerilmektedir (Stephen,1994);

- Toplam Kalite,
- Grupları tanıma ve teşvik etme,
- Problem çözme teknikleri,
- İşletme içinde müşteri / tedarikçi ilişkisi,
- Kalite yönetimi ile ilgili araçlar.

4.Aşama: Üst yöneticilerin katılımının sağlanması: Toplam Kalite Yönetiminin temelinde inanç ve motivasyon yer alır. Toplam kalite başarısı yönetimin katılımına bağlıdır. Duyarlılığın sağlanması sonucunda yönetiminin TKY uygulaması kararını anlamış ve kabul etmiş olması, konusunda aynı ortak dili konuşur hale gelmesi ve bu yeni kalite tanımını benimsemesi, kalite yönetiminde kullanılan araçlar hakkında ilk bilgilere sahip olması önemlidir.

Amerikan İşletmelerinin yöneticileri TKY'yi incelemek için Japonya'ya ziyaret etmişler ve bu ziyaretin olumlu sonuçları kalite konusundaki açıklamalara dönüşerek, üst yönetimde eğitimin ve katılımın önemi ortaya çıkmıştır (Kano, 1993).

5. Aşama : Kaliteye çağrı : Bu aşamaya gelindiğinde normal koşullarda personel hiçbir resmi bilgiye sahip değildir. Fakat işletmede bir değişimin varlığı bilinmektedir. Her yerde olduğu gibi burada da değişime karşı bir direnç oluşmuştur. Yeni yönetim stilinin bilinmemesi personeli hoşnutsuzluğa sürüklemektedir. Bu nedenle personelin tamamına gerekli bilginin verilmesi zorunlu olmaktadır.

6. Aşama : Personelin eğitilmesi : Başarı için iki temel faktör ; bilinç ve eğitim-öğretimdir. Bilinç TKY uygulamalarını harekete geçirmenin, eğitim ve öğretim ise onu hızlandırmanın yoludur.

Yöneticilerin olduğu kadar personelinde toplam kalite konusunda eğitime ihtiyacı vardır. Personele verilecek eğitimin hedefleri ;

- Kalitenin temelleri üzerine bir anlayış geliştirmek,
- İşletmenin büyüme stratejisinde uygulanan ulusal ve uluslararası kalite konularından haberdar olmak ve bir perspektif yaratmak,
- İşletme amaçlarına ulaşmada kullanılacak bir kaldıraç gibi yöntemin oluşturup kullanabileceği kalite sistemleri geliştirmek,
- Kaliteyi karar verme sürecinde işletmenin öncelikli amacı haline sokmak

olmalıdır.

7. Aşama : Personelin katılımının sağlanması : Burada ifade edilen katılım, hem kalite faaliyetlerine katılımı, hem de bu yeni organizasyonun yönetimine katılımını ifade eder. Çalışanların beyin gücünü harekete geçirmek ve onların işletme hayatı ve sonuçlarına katılmalarını sağlamak her işletmenin arzusudur. Bazı işletmeler bu konuda güçlüklerle karşılaşırken, bazıları amaca ulaşabilmektedirler. Gerçekten, bazı işletme yöneticileri, doğuştan gelen yetenekleriyle personeli arkalarından sürükleyebilmektedirler. Katılımcı yönetimin etkin olarak işleyebilmesi için;

- Yöneticilerin, bazı güçleri ve sorumlulukları paylaşmaya isteki olmaları gereklidir,

- İş, yönetimle çalışanlar arasında ortak bir çaba olarak görülmelidir,
- İleri seviye problem çözümü ve önleme eğitimi verilmelidir,
- Yönetim, karar alma mekanizmasının merkezden uzaklaştırılmasını benimsemelidir,
- Yönetim, herkesin iyi fikirler üretebileceğine inanmalıdır ve desteklemelidir, uygun olduğunda bu önerileri uygulamaya istekli olmalıdır,
- Çalışma ortamını ergonomikleştirme faaliyetleri, hissedilir derecede olmalıdır,
- Yönetim, katılımcı yönetimi uzun vadeli bir proje olarak değerlendirmeli ve kısa vadeli sonuçlar beklememelidir,
- Yönetimin, çalışanların güvenini kazanması ve bunu sürdürmesi gereklidir.

Bu pek kolay olmayacaktır; çünkü güven çok hassas bir üründür, devamlı üretilmelidir ve hiçbir zaman garanti altındaymış gibi görülmemelidir. (Axelrod,1994)

8. Aşama : Kalite çemberlerinin kurulması : Kalite çemberleri TKY'nin önemli bir unsurunu teşkil etmektedir. Kalite çemberlerinin iki yönlü yararı bulunmaktadır :

Birincisi, sosyal düzenle ilgilidir. Çemberler, kişilere fikrini ifade edebilme ve kendi işiyle ilgili sorunları bizzat halletme imkanını vererek personelin işletme hayatına katılmasını kolaylaştırmaktadır. Grup çalışması ile, işletme içinde fikir alış verişini kolaylaştırarak ilişkilerin iyileştirilmesine de katkı vermektedirler.

İkincisi, ekonomik düzenle ilgilidir. Çemberler işletmedeki tüm beyinleri harekete geçirmeye imkan vererek performansın da iyileşmesini kolaylaştırırlar.

9. Aşama : Yetersiz işletmeyle mücadele etme : Bu safhanın amacı, kalitenin iyileştirilme planının uygulamaya konulmasıdır. TKY uygulamasının belli başlı amaçlarından biri, ürünlerin maliyetlerinin düşürülmesi ve işletmenin savurganlıklarının önlenmesidir.

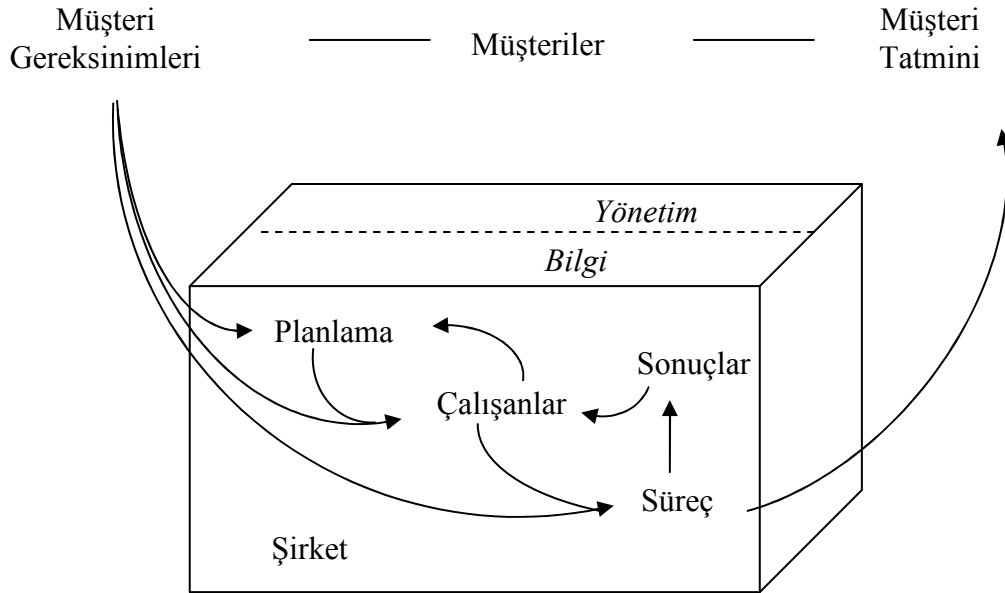
Yukarıdaki çalışmalar tamamlandığında değişim tamamlanmış olur. Değişim sonrasında eski ve yeni yönetim modelleri karşılaştırıldığında Tablo 2.1'deki gibi bir durum ortaya çıkar (Yıldız, 1994).

Tablo 2. 1 Eski ve Yeni Yönetim Modellerinin Kıyaslanması

Eski Yönetim Modeli	—————▶	Yeni Yönetim Modeli
Dikey	Organizasyon	Yatay
Otoriter	Liderlik	İşbirlikçi
Kazanç,kar	Odak	Müşteri
Bağımsız	Yapı	Birbirine bağlı
Değişmeyen	Pazar	Değişken
Sermaye	Kaynaklar	Bilgi
Maliyet	Avantaj	Zaman
Tek iş	İş gücü	Farklı işler
Gizlilik	Çalışan görüşü	Personel yetiştirme
Kişisel	Çalışma	Takım
Zorlayıcı	Kalite	Kişisel

Tablo 2.1'ye göre yeni yönetim modelinde organizasyon, hiyerarşinin çok olduğu dikey yapıdan yatay ve daha yalın hale gelmektedir Liderlik yapısı otoriter yapıdan işbirlikçi yapıya dönüşür. Kar odaklı yapı yerini müşteri odaklı yapıya bırakır.

Yeni yönetim modeli yapısının işleyişine ve amaçlarına bakıldığında sistemin işleyişi Şekil 2.1'deki gibidir (Stephen,1994).

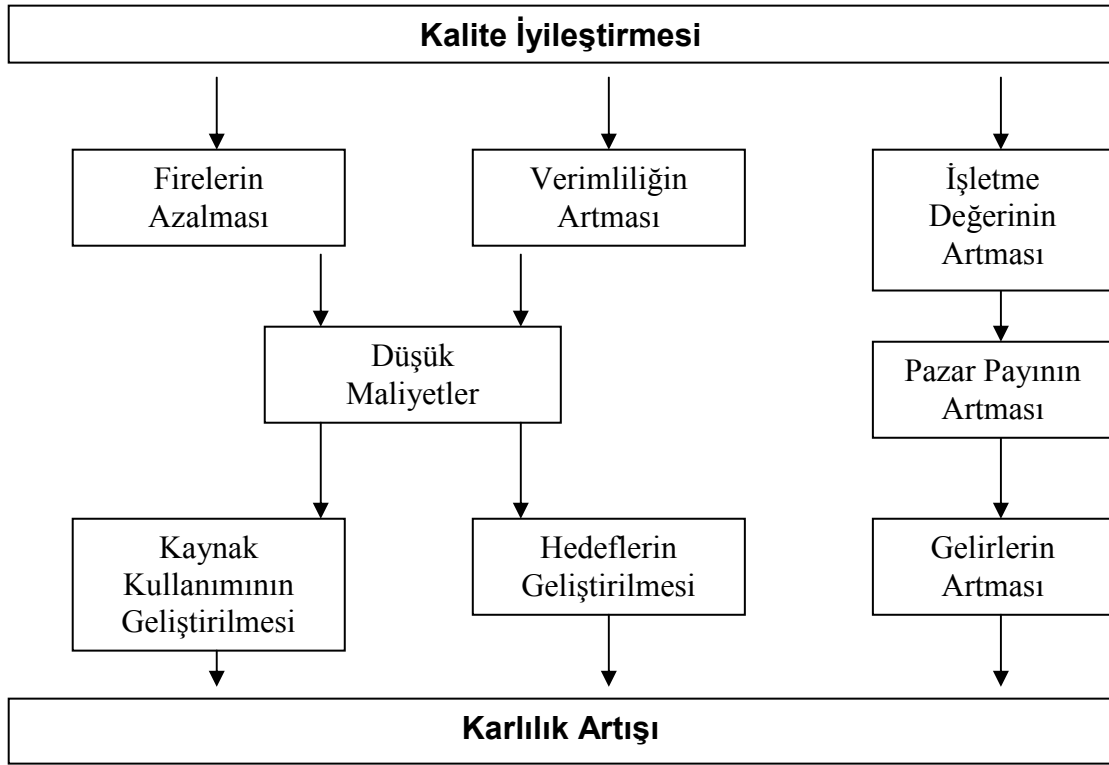


Şekil 2.1 Yeni Yönetim Modeli

Yeni yönetim modelinde en önemli nokta müşteri tatminidir. Bu amaçla öncelikli olarak müşteri gereksinimleri belirlenir ve bu gereksinimler sisteme iletilir. Gereksinimleri karşılamak için planlar yapılır. Bu planlar çalışanlara aktarılır. Süreç içerisinde bu planlar çalışanlar tarafından uygulanarak sonuçlar elde edilir. Bu sonuçlar yine çalışanlara aktarılarak yeniden planlar oluşturulur. Amaç sürekli olarak müşteri tatminini artırmaktır (Stephen,1994).

İşletmelerin TKY'ne geçmeleri sonucunda birçok olumlu etmenle tanışacakları ve bütün bu oluşumun toplamda işletmeye maliyetlerin azalmasından tutunda uluslar arası alanda prestij kazanmaya kadar varan ve sadece ekonomik ölçütlerle

tanımlanamayacak kadar büyük faydalar getirir. Şekil 2.2’de işletmenin TKY’ne geçmesi sonucunda başlatmış olduğu kalite iyileştirmesinin işletme üzerindeki etkileri ve somut sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kalite İyileşmesinin Etkileri

TKY’nde kalite iyileştirme, en temel ve kritik unsurlardan birisidir. Kalite iyileştirme faaliyetleri birbiriyle ilişkili birçok etkenin bir yordam vasıtasıyla işlenmesiyle elde edilir. Bu etkenler;

- Müşteri merkezilik olmak,
- Kaliteyi hayat tarzı olarak kabul etmek,
- Bilimsel yaklaşımlara değer vermek,
- Uzun dönemli yönetim ve planlamaya inanmak,
- Takım çalışmasını yapabilmek,
- Sürekli iyileştirmeyi sağlayabilmek,
- Eğitim ve öğretime devam edebilmek,

- Kontrol işlemlerini çalışanlara verebilmek,
- Tek hedefe inanmak,
- Çalışanları tatmin edebilmek ve güçlendirmektir.

Bütün bu elemanlar kalitede iyileşme sağlar. Bu sayede işletmede fireler ve üretim maliyetleri azalacak, verimlilik artacak, kaynak kullanımı genişleyecek ve yeni hedefler belirecektir. Bu hedefler işletmenin pazar payını arttıracak ve işletmenin değerini de yükseltecektir. Bütün bu oluşumlar temelde kar artışına imkan verirken işletmede kaliteyi iyileştirmiş olacaktır (Davis,1994).

2.5. Toplam Kalite Yönetimi ve Verimlilik

Toplam Kalite Yönetimini hiç ele almadan verimliliğin ne olduğu biraz anlamaya çalışılırsa karşımıza bir çok farklı açıklamalar çıkmaktadır. Kimine göre verimlilik çok ürün üretme, kimine göre ise en az maliyetle ürün üretme veya ikisinin birleşimi olan kısa zamanda, az maliyetle çok ürün üretme olarak tanımlanır. Oysa verimliliğin bunlarla gerçekte direkt olarak bir ilişkisi yoktur. Çünkü eğer ürettiğiniz ürünler istenen standartlarda veya istenen kalitede değilse, ne kadar ürünü, nasıl imal ettiğinizin hiçbir önemi yoktur. Bu yüzden verimlilik ve TKY birbiriyle ilişkili kavramlardır. Bu iki kavram birbirinden ayrı olarak ele alınmamalıdır.

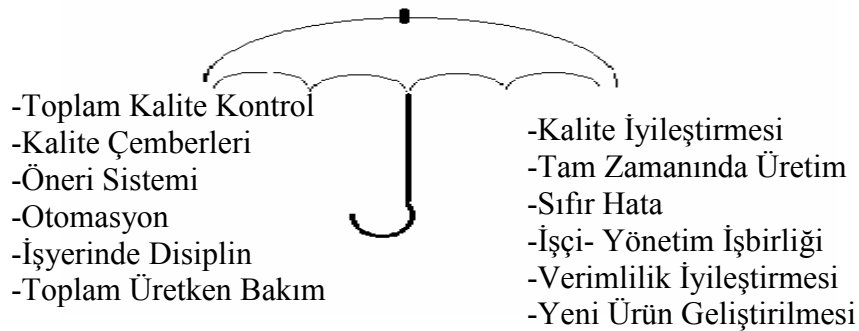
Öncelikle üretilen ürün veya hizmet sektöre uygun olmalıdır, daha sonra sistemde bir takım kontrol noktaları olmalı, ve buralarda bilimsel yöntemlerde veriler elde edilmeli ve işlenmelidir. Gelen bütün bu sonuçlar neticesinde eğer gerileme gözlemlenirse veya bu gözleme işine gerekli özen gösterilmezse, işte o zaman verimsizlik başlamıştır. Kısaca mevcut kaynakların etkin kullanılmaması verimsizliğin temelini oluşturmaktadır.

TKY felsefesine göre işletme bir bütün olarak ele alınır ve elde edilen kalite iyileştirilmesinin korunması, kaliteyi tesis etmekten daha zor ve önemlidir. İşte bu noktada bakım faaliyetlerinin önemi bir kez daha ortaya çıkar.

2.6. Toplam Kalite Yönetimi ve Bakım

Üretim ve bakım faaliyetleri 21nci yüzyılda birbirinden ayrılamaz kavramlar haline gelmiştir. Günümüzde bakım faaliyetlerine gereken önem verilmediği takdirde, TKY'nin uygulanabilirliği gerçekliğini kaybetmektedir. Bugün birçok işletmede uygulanan üretim politikaları temelde müşteri isteklerini temel almaktadır. Müşterilerin ürünler üzerindeki beklentisi sürekli artmakta olduğundan bu durum işletmelerin üretim sistemlerinde, sürekli değişiklik ve iyileştirme yapmasına yol açmaktadır. Bütün bu etkiler firmaları TKY'ye geçmeye zorlamakta ya da aslında TKY ile paralellik arz eden bir yapıya yöneltmektedir.

TKY uygulanan bir işletmede ortaya çıkan en olumsuz durumlar bile kolayca birkaç adımla çözülebilir veya bu sorunların neler olabileceği önceden kestirilebilir. TKY'nin temelinde işletmedeki her birim eşit öneme ve eşit katkıya sahiptir. İşte bakım politikaları ve TKY burada birbiriyle kesişmektedir. Çünkü bakım, birçok işletme için üretimde önemli bir fonksiyon olarak görünmektedir. Günümüzde kar paylarının azalması ile, iyi bir bakım planlaması ve kontrol sistemi ihtiyacı açıkça ortaya çıkmıştır. Ancak, bakım genellikle asıl işi üretim olan sektörlerde ikinci sınıf bir işlem olarak düşünülmektedir(Çakmak, 2003). Belirtilen nedenlerle bakım faaliyetleri, yönetimin yeterli desteğini alamamaktadır. Yönetimin yeterince dikkatini çekememesinin bir diğer sebebi de bakım maliyetlerinin kontrol edilemeyeceği düşüncesidir. Genellikle yönetim bakım faaliyetlerine kaçınılmaz olarak bakmakta ve azaltma yolunun olmadığını düşünülmektedir. Bakım dahil birçok konuyu içeren TKY, bir şemsiye gibi Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3 TKY Şemsiyesi

TKY şemsiyesi incelendiğinde işletmenin sağlıklı bir yönetime ve sahip olması ve kaliteyi tesis edebilmesi için gerekli asgari ihtiyaçları temsil ettiği görülmektedir. Toplam Üretken Bakımında (TÜB) bu unsurlardan bir tanesi olduğu bilinmektedir. Görüldüğü üzere TKY sadece üretimle veya yönetimle ilgilenmemekte, ayrıca üretimden sonra da ortaya çıkan, veya üretimi sekteye uğratacak her konu, aynı hassasiyetle ele alınmaktadır. Bu faaliyetlerden bir tanesi de bakım faaliyetleridir. Üretim sistemi büyüdükçe veya üretim miktarı arttıkça tamir-bakım faaliyetlerinin önemi artmıştır. Yüzlerce tezgahtan oluşan bir üretim hattında birkaç makinenin arızalanması, zincirleme etkilerle bütün sistemi durdurabilmektedir. Tamir-bakım faaliyetlerindeki aksaklıkların üretim akışı, verimlilik ve dolayısıyla maliyetler üzerindeki etkileri şöyle özetlenebilir (Kobu, 1996);Makinelerin ve onları çalıştıran operatörlerin boş kalmaları,

- Dolaylı işçilik ve imalat genel masraflarının artması,
- Müşteri taleplerinin karşılanamaması ve dolayısıyla müşteri memnuniyetinin düşmesi,
- Aksaklığın meydana geldiği departmanla, ilgili olan diğer departmanlardaki gecikme ve boş beklemeler,
- Hatalı ürün oranının artması, beklenen kaliteyi yakalayamama,
- Siparişlerin zamanında teslim edilememesi sebebiyle müşteri kaybetmektir.

Üretimde hataların önlenmesi sadece kaliteyi değil, bütün üretim faaliyetlerini geliştirir. Hatasız yapılan üretim sayesinde üretim hızı ve kapasitesi artırılabilir, üretim çevrim süreleri ve malzeme kaybı azaltılır, enerji tasarrufu sağlanır, insansız üretim yapılabilir, stok ve tedarik süreleri düşürülebilir. Bunların etkisi ise, daha az kayıpla, düşük maliyetlerle üretim yapabilmek ve müşteriye daha hızlı cevap verebilmek şeklinde kendini göstermektedir (Akal, 1985).

Sonuç olarak istenmeyen duruşlara ve bunların yol açabileceği zararları önleyebilmek, yapılan planlamalara sadık kalabilmek, istenilen kaliteyi muhafaza ederken geliştirebilmek, amacıyla işletmeler bir takım bakım planlaması yapmak zorundadırlar.

3. BAKIM FAALİYETLERİ

Bakım faaliyetlerinin tarihsel gelişimi ve genel bakım yöntemleri bu bölümde kısaca açıklanmış, Toplam Üretken Bakıma ve Güvenirlik Odaklı Bakıma daha fazla önem verilmiştir. Daha sonra Güvenirlik Odaklı Bakım analizlerinden birisi olan Tehlike fonksiyonu analizi açıklanmıştır.

3.1. Faaliyetlerinin Zaman İçindeki Değişimi

Bakım, aletin ilk icat edildiği veya işletmeye konduğu andan itibaren var olan bir olgudur. Çalışan teçhizat veya makinenin bozulması, yıpranması mutlak olduğuna göre onun neticesinde bakımda var olmaktadır. Endüstri geliştikçe ve otomasyona gidildikçe yatırım giderleri artmakta, işçilik giderleri azalmaktadır. Yatırım giderlerine bağlı olarak bakım giderleri de artmaktadır.

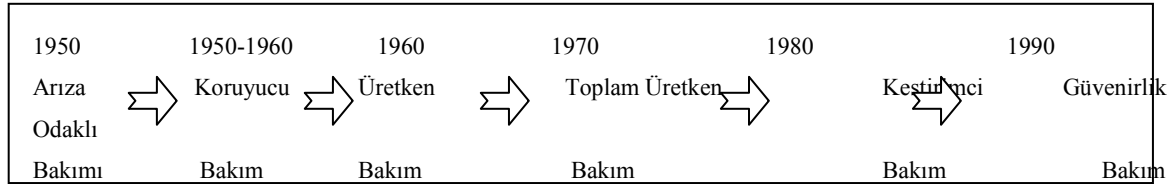
Bakım, canlı ya da cansız bütün varlıkların ve cisimlerin iyi durumlarının korunması ve devamının sağlanması ile ilgili tedbir ve faaliyetlerin sürekli olarak yerine getirilmesi işlemidir. İşletmelerdeki bakım faaliyetleri; üretim araçlarının planlanan düzeyde ve düzenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için, makine ve teçhizatın iyi durumda çalışmasını, sağlamak üzere yapılan işlem ve faaliyetlerin tümünü kapsamaktadır. Bakım faaliyetlerinin amaçları arasında;

- Beklenmeyen arızaları ve muhtemel duruşları önlemek,
- Kontrol altına alabilmek,
- İyi durumun sürekliliğini sağlamak
- Yeni öneriler sunarak sistemi iyileştirmek bulunur.

Genel olarak bakım denilince akla üretim sistemlerinin ömrü boyunca yapılan temizlik , yağlama , ayarlar , parça değişimleri , onarımlar , kontroller vb . gibi işlemler gelmektedir . Özellikle nokta kontrolleri sistemin çalışma sürekliliğini sağlamak açısından çok önem taşımaktadır.

Bakım ; yıpranma ve eskimeyi en küçükleyerek makine ve teçhizatın ömrünü uzatmak ve dolayısıyla işletmenin değerini korumak, makine ve teçhizatın işletimde kalma sürelerini en büyükleyerek makine kullanılabilirliğini arttırmak, ürünün kalite düzeyini koruyacak veya arttıracak şekilde işletme olanaklarının kaliteli olmasını sağlamak, bütün bunları en az bakım masrafiyle gerçekleştirecek işleri kapsamaktadır (Gallimore, 1988).

Geçmiş dönemlerden günümüze kadar bakım faaliyetleri birçok farklı isim ve yöntemler ile adlandırılıp gruplandırılmıştır. Kronolojik sıralamada bakım faaliyetleri incelenirse, Şekil 3.1’teki gibi ortaya çıkan sıralama ile karşılaşılır(Karabulut,1999).



Şekil 3. 1 Geçmişten Bugüne Bakım Yöntemleri

1950’li yıllara kadar işletmelerde “Arıza Bakımı” uygulanmıştır. Makinelerin, arızalandığı zaman tamir edilmesi, olarak bilinen bu bakım türü ; zaman, ürün ve maliyet gibi yüksek kayıplara neden olmaktadır. 1950’lerde ise “Koruyucu Bakım” (KB) sistemi gelişmiştir. Arızalardan önce belirli zamanlarda periyodik olarak yapılan bakım faaliyetlerini kapsar. Bu bakım sayesinde, deformasyonlar ve korozyonlar engellenmeye çalışılmaktadır. 1960’lı yıllarda ise tezgahların sürekli

çalışmasını sağlamak ve daha fazla verim almak için planlanan faaliyetler anlamına gelen “Üretken Bakım” (Verimli Bakım) kavramı ortaya çıkmıştır.

Böylelikle üretimin sürekliliği için planlı bakım faaliyetleri yapılmaya başlanmıştır. 1970'lere kadar Japonya'da Üretken Bakım temel olarak koruyucu bakımdan veya periyodik müdahale ve revizyon işlemlerini kapsayan zamana dayalı bakımdan oluşmaktadır. 1970'lerde Üretken Bakıma, koruyucu bakım çalışmalarının da eklenmesiyle “Toplam Üretken Bakım” (TÜB, “Total Productive Maintenance, TPM”) sistemi ortaya çıkmıştır. 1970'li yılların sonlarına doğru ulusal ekonomilerin sınırları aşması, dünyada globalleşme hareketlerinin başlaması, rekabet ortamının iyice kızışmasını tetiklemiştir. Pazarda kalmak isteyen kuruluşların rakiplerinin ürettiklerinden daha kaliteli ve daha düşük maliyetli üretim yapma zorunluluğu artmıştır. Bu zorunluluk yöneticileri teknolojik yatırım yapmaya itmiştir. İşte bu noktada bakım faaliyetlerinde bilimsel veriler ışık tutmaya başlamış ve “Kestirimci Bakım” (KsB, “Predictive Maintenance, PdM”) yöntemi ortaya çıkmıştır.

Kestirimci Bakım temel olarak, makinelerin ne zaman arızalanacağını istatistiksel yöntemlerle belirlenmesine ve arıza yapmadan önce bakım yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Ancak günümüzde sadece teknolojik gelişmelere ayak uydurmak yeterli olmamaktadır. Artan refah ve eğitim düzeyi, gelişen iletişim ve ulaşım olanakları ve teknolojik yenilikler gibi faktörler, çalışan bireylerin tatmin olma seviyesinin yükselmeye başlamasına neden olmuştur. Bu yüzden basit istatistiksel yöntemlerle yapılan planlamalar yetersiz kalmış ve “Güvenirlilik Odaklı Bakım” (GOB, “Reliability Centered Maintenance,RCM”) ortaya çıkmıştır. GOB' a kısaca ; yöneticilere bakım politikaları hakkında doğru kararlar verebilmeleri için firmanın geçmiş deneyimlerini, mühendislik kabiliyetlerini ve matematiksel altyapılarını kullanarak taze bir perspektif sunan bakım modeli denir (August, 1999).

Günümüzde, bir tesisin düzenli ve sürekli çalışabilmesi, karlılığı, bakım ekibinin çalışma sistemine, randımanı ve tecrübelerine bağlıdır. Makinelerin planlı, sistematik

bir şekilde bakımı ve kontrolü, üretim maliyetlerini azaltmakta büyük rol oynamaktadır (Swanson, 2001).

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, Japon endüstri sektörü ABD'nin üretim, yönetim, teknik bilgi ve becerilerini alıp geliştirmiştir. Daha sonra Japon ürünleri üstün kaliteleri ile dünya çapında tanınır olunca ve batılı ülkelere geniş çapta ihracat başlayınca, dünya Japon tipi üretim tekniklerini incelemeye, araştırmaya başlamıştır (Levitt,2003).

Teçhizat bakımı alanında da benzer gelişmeler olmuştur. Japonya'nın ABD'den koruyucu bakım almasından bugüne 30 yılı aşkın bir süre geçmiştir. Daha sonraları Üretken (Verimli) Bakım, Toplam Üretken Bakım (TPM), Önleyici Bakım ve Güvenirlilik Mühendisliği Japonya'da da benimsenmiş olan Amerikan tarzı bakım modelleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Birçok kaynağa göre bahsedilen bakım yöntemlerinin kronolojik sıralandırılması farklılıklar içerebilir. Çünkü hemen hemen bu modern bakım yöntemlerinin temelleri aynı dönemlerde veya birbirine yakın zamanlarda ortaya çıkmıştır.

Bakım denilince akla makineler veya üretim hatlarındaki otomasyonlar gelmektedir ama aslında ilk KB uygulamalarının çok daha önceki yıllarda hatta orta çağlarda kullanıldığı bilinmektedir. (Levitt,2003)

Elektronik alanda ortaya çıkan gelişmeler ve bilgisayarın hayatımıza girmesi, üretim hatalarını karmaşıklaşması, temelleri yaklaşık aynı zamanlarda atılmış olmasına rağmen bir çok farklı tarzlarda bakım modellerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu farklı bakım yöntemleri izleyen paragraflarda kısaca açıklanmıştır.

3.2. Arızı Bakım

İlk makinenin icadıyla ortaya çıkan en temel ve basit bakım yöntemidir. Genel olarak üretim sistemlerindeki makine veya teçhizat herhangi bir nedenle kısmen veya tamamen çalışamaz duruma girdiğinde tekrar çalışır duruma getirmek için uygulanan işlemlerdir.

Arızı bakım süresinin kısa tutulması kapasite kullanım oranını artırır. Buna karşılık tamir ekiplerinin maliyetinin artmamasına da dikkat edilmelidir. Bu tür bakımın direkt maliyeti düşüktür çünkü bu sistem çok az planlama ve kırtasiye işleri gerektirir (Kobu, 1996).

Ayrıca bu yöntem çok sayıda yedekleri bulunan ve fazla pahalı olmayan makinelerle üretim yapan tesislerde ve atölyelerde de uygulanmaktadır. Beklenmedik bir arıza nedeniyle makine durduğunda bozulan parçanın yedeği varsa onunla değiştirilir, yoksa program dışı bir bakım gerekecektir. Makine parçalarının yedeğini bulundurmamak hem sermaye hem de depolama yönünde işletmelere büyük yük getirmektedir. Bu bakım yönteminin diğer bir olumsuzluğu ise, arızanın ne zaman meydana geleceği bilinmediğinden, verimli bir üretim planı yapmanın mümkün olmayışıdır.

3.3. Koruyucu Bakım

Koruyucu bakım yöntemi genelde bugünkü endüstride en çok kullanılan bakım yöntemidir. Genel olarak bu bakım yönteminde, bakım ekibinin deneyimi ve makinelerin geçmişteki performans ve çalışma şartları göz önünde bulundurularak, makinenin hangi zaman aralıklarında durdurularak bakıma alınacağı belirlenmektedir. (Swansan, 2001).

Arızaları meydana çıkmadan önce önlemek (dolaysız koruyucu bakım) veya arızayı duruşa neden olmadan önce tespit etmek (dolaylı koruyucu bakım) için uygulanan bütün bakım – onarım faaliyetleri olarak tanımlanabilir.

Koruyucu bakım faaliyetleri arasında, günlük faaliyetler, ekipman kontrolleri, hassas ölçümler, belirli periyotlarda kısmi veya genel bakımlar, yağ değiştirme, yağlama ve benzeri rutin işlemler vardır. Üretim duruşlarına veya yıpranmalara neden olabilecek durumları ortaya çıkarmak için üretim araçlarını veya yardımcı tesislerin periyodik olarak muayene edilmesini, ekipman bozulmalarının kayıt altına alınmasını içerir. Böyle durumları önlemek için bakımlarını yapmak veya henüz önemli olmayan bir düzeyde iken ayarlama yapmak veya onarmak amacını taşımaktadır (Belek ve Toprak, 1997).

3.4. Üretken Bakım

Üretken Bakım yöntemi, Koruyucu Bakım yaklaşımının modern dünya sanayisinde ortaya çıkan yeni talepleri karşılayabilmek üzere değişim göstererek ve buna paralel olarak da koruyucu bakımın bir parçası olarak yapılan ve ekipmanı ilk durumuna getirici rol oynayan onarım tipinin de ötesinde bir yere sahip olan Düzeltici Bakım (DB, “Corrective Maintenance, CM”) kavramı ile birlikte ortaya çıkmıştır.

Düzeltici Bakım, aynı arızanın ilerde tekrar meydana gelme ihtimalini düşüren, onarımları özendirici rol oynayan bir yöntemdir. Diğer bir değişim de, bakımı ve kullanımı daha kolay, daha iyi bir ekipman imal edebilme amacına yönelik bir çaba içinde, tasarım aşamasını da bünyesine dahil etmiş olan Bakım Koruması (BK, “Maintenance Preventive , MP”) kavramı ile birlikte meydana gelmiştir (Hubar, 2000).

Üretken Bakım temel olarak; Koruyucu Bakım, Düzeltici Bakım, ve Bakım Koruması yaklaşımlarını bir araya getirilerek diğer adı Verimli Bakım anlamına gelen yeni bir yaklaşım tipidir. Bakım sözcüğü; makine ve teçhizatın işletimde kalma sürelerini en büyükmek ve makine kullanılabilirliğini arttırmak için ihtiyaç duyulan unsurlar olan kalite, performans ve emniyet faktörlerini kapsıyorsa, beklenen unsurların sürekli korunabilmesi için Üretken Bakıma ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü Üretken Bakım, verimliliğin maksimum düzeye çıkarılması amacına yöneliktir. Bu hedefe

ulaşabilmek için, Üretken Bakım izleyen dört faaliyet türünü içine almaktadır; (Shirose, 1992)

- Koruyucu bakım,
- Olay sonrası bakım ,
- İyileştirme amaçlı bakım,
- Bakım koruması.

Belirtilen faaliyet türleri arasında, özellikle önemli olanlar Koruyucu Bakım, İyileştirme Amaçlı Bakım ve Bakım Korumasıdır. Koruyucu Bakım faaliyetleri bölüm 3.3’de açıklandığı gibidir. Olay sonrası bakım ise bölüm 3.1’de açıklanan arızı bakım yöntemini kapsamaktadır.

İyileştirme Amaçlı Bakım ise; ekipmanın durumunu iyileştirmeye ve dolayısıyla ilerde meydana gelebilecek arıza ve hataları azaltmaya yönelik olarak tasarlanmış işlemlerdir.

Bakım Koruması ise; yeni bir ekipman geliştirilmesinin projelendirme aşamasında ihtiyaç duyulan ve bu amaca yönelik olan faaliyetleri kapsamaktadır. Bunlar ekipmanın güvenilirliği, bakımının kolay olması , kullanıcısı ile dost kılınmasını ve böylece operatörlerin takım sökme, takma, bağlama, ayar vb. işlemlerini kolaylıkla yapabilmesini; bunun yanı sıra, makineyi rahatlıkla kullanabilmelerini sağlamayan hedeflerini de kapsamaktadır (Hubar, 2000).

3.5. Toplam Üretken Bakım

Toplam Üretken Bakım üst yönetimden en alt düzeydeki çalışana kadar organizasyondaki her seviyeyi, birimi ve fonksiyonları kapsayan takım çalışmasına dayalı üretken bakım yönetimidir.

TÜB' de asıl olan hatayı arızayı ve kayıpları daha oluşmadan önleyebilmektir. TÜB çerçevesinde yapılan çalışmaların standartlaştırılması bu anlamda çok önemlidir. Ancak bundan daha da önemlisi, tüm organizasyonun yapılan çalışmaları benimsemesi, sahip çıkması ve katılmasıdır. TÜB bu nedendir ki basit bir bakım yönetimi değil, organizasyondaki tüm bireylerce hissedilen, yaşanan topyekün bir kültür değişimidir.

TÜB'e göre bakım, sadece tamir-bakım elemanlarıyla sınırlı kalmamış, operatörler de sorumlu hale gelmiştir (Shirose, 1992). TÜB' da doğru bilgi toplama, analiz ve problem çözüm aşamalarında, üretim ve bakım eşdeğer öneme sahiptir.

TÜB, Toplam Kalite Yönetiminin bir uygulamasıdır. Toplam Kalite, yöntemler üzerindeki sürekli iyileştirmeyi, üretim değerleri üzerinde Toplam Üretken Bakımı ve malzeme üzerinde Tam Zamanında Üretim tekniklerini uygulamayı amaçlayan bütünlük bir sistemdir. TÜB' ün amacı iç ve dış müşteri memnuniyetini tüm çalışanların katılımı ile sağlamaktır (Hubar, 2000).

TÜB yaklaşımını fabrikalarda geçerli kılmak üzere 8 ana faaliyet dalında, ayrı ayrı yapılması gereken birtakım değişiklikler vardır. TÜB'ün çatısı, ancak bu 8 sütunun dengeli bir şekilde inşa edilmesiyle yerine oturabilmektedir. TÜB'ün 8 ana sütunu ayrıntılara girilmeksizin, aşağıda verilmiştir.

1. Odaklanmış İyileştirmeler – (Kobetsu-Kaizen),
2. Otonom Bakım – (Jishu – Hozen),
3. Planlı Bakım,
4. Personelin Eğitimi,
5. Erken Ekipman / Ürün Kontrolü,
6. Kalite için Bakım – (Hinshutsi –Hozen),
7. Çevre – İnsan Sağlığı ve İş Güvenliği,
8. Ofislerde TÜB.

3.6. Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım, makine ve ekipmanlardaki arızaların sorun yaratacak hale gelmeden önce, tespiti, analiz ve düzeltilmesi amacıyla seçilen parametrelerin, ölçülmesi , grafiklerin çizilmesi ve önceden belirlenen sınır değerlerle, çizilen grafiklerle yorumlanmasıdır.

Bu bakım yönteminde ana prensip, üretim sırasında yapılan ölçmelerle makinelerin performansını izleyerek ne zaman bakıma gerek olacağına karar vererek, kısa bir süre üretime ara vererek ya da planlı kapamalarda, duruşlarda daha önceden belirlenen / öngörülen arızayı onarmaktır (Belek ve Toprak, 1997).

Kullanılan yaklaşım, makine ve ekipmanları güncel ve geçmişteki durumlarının izlenmesiyle gelecekteki durumlarının kestirilmesidir. Bu metot, makine veya teçhizatın sürekli gözlenmesi ve işlem görme şartlarının ve bunların zamanla gelişiminin analiz edilmesini içerir.

3.7. Güvenirlik Odaklı Bakım

Güvenirlik Odaklı Bakım (GOB) aslında uçak endüstrisi için bakım planlaması yöntemlerinden bir tanesidir . Sonraları birkaç çeşitli diğer endüstri dallarında ve askeri alanlara da uyarlanmıştır (Rausand,2002).

Güvenirlik Odaklı Bakımın öğeleri esasen yeni ortaya çıkan kavramlar değildir; Zaman temelli bakım (ZTB, “Time – Based Maintenance,TBM”) , yap veya al (YvA, “Maintain or Built, MoB”), yeniden işleme, performans testleri ve düzeltici bakım uygulamaları gibi terimler, planlı bakım programlarının bakış açılarını açıklamak için geleneksel olarak kullanılmaktadır.

Bir başka açıdan GOB, oldukça karmaşık bir yapıya biraz da olsa bir düzen getirmiştir. Bir başka ifadeyle, bütün terimleri ortak bir stratejide birleştirmektedir.

Strateji, GOB' un altında yatan ana temayı oluşturur. Bu konuda uzman olanlar işletmelerin ihtiyaçlarını 3 yöntemle ele alırlar. Bunlar: (1) işletmenin mevcut stratejisinin geliştirmek ve bunu yeni taktiklerle desteklemek, (2) gelecekteki hedeflere ulaşacak yolları şimdiden belirlemek, (3) işletmenin acil bakım ihtiyaçlarını düzenlemektir (August,1999).

Belirtilen noktalardan bakıldığında GOB'un amacı; güvenilir ve doğal emniyeti en küçük masrafla elde etmektir (Matteson, 2003).

GOB, üretim ve bakımın olduğu her yerde, güvenilirlik mühendisliğinin teorileri ve matematik bilgilerini, üretim kaynaklarına yön verebilmek için açıkta kalan boş kaynakların daha etkin ve doğru olarak kullanılmasını sağlayan metotlar kümesidir. GOB, aynı zamanda üretime odaklanmayı sağlar.Hali hazırda kullanılan GOB dokümanları incelendiğinde, GOB uygulamasında ciddi mühendislik ve matematik bilgisi gerekmektedir. Esasen GOB, bir şirketin matematik ve mühendislik bilgi birikiminin pratik bir özetidir. GOB, bakım faaliyetleriyle ilgili olarak daha doğru ve güvenilir kararlar verebilmesi için yeni ve farklı bir perspektif kullanmaya teşvik etmektedir.

GOB uygulamalarının uyarlanmış deneyimleri bir çok farklı sektörde kabul görmüş ve hayata geçirilmiş olmasına rağmen, temel olarak aynı gözüktüğü de birtakım farklılıklar olmuştur. Fakat bu tür uyarlamalar zamanla GOB temellerinde uzaklaşmalara ve farklılaşmalara neden olmuştur. Bu tür GOB uyarlamalarına kısaca Uyarlanmış GOB,("Applied Reliability Centered Maintenance,ARCM") denilmektedir (August,1999).

GOB, pratik, güvenilir bilgileri oldukça görülebilir bir şekilde vermesinden dolayı kısa sürede tercih edilmeye başlanmıştır.

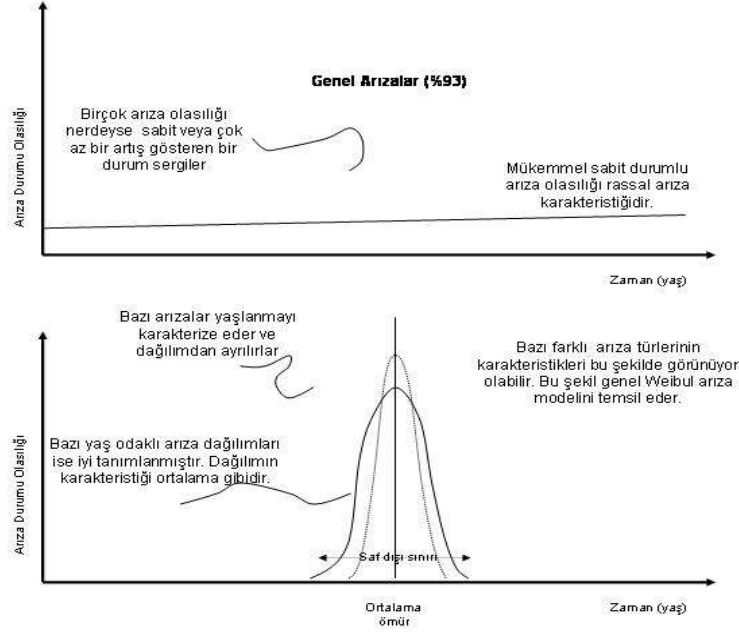
GOB ile beraber bir çok yeni terim de terminolojiye eklenmiştir. Bunlar kısaca;

- Durum izlenmesi (mukayesesi),
- Bakım planları,
- Güç iş yükü,
- Mantık ağacı analizi,
- Durum odaklı yapı,
- Etkinlik,
- Yaş keşfi,
- Arıza arama faaliyetleri,
- Zamana dayalı yapı,
- Arıza türleri ve etkileri analizi, (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)
- Hata ağacı analizi, (HAA, “Fault Tree Analysis ,FTA”)
- Genel arıza analizleri,
- Sistem arıza yönetimi ve risk ağacı ölçümü yönetimi (RAÖ, “Measurement Of Risk Tree, MORT”)

süreçleridir (Nolan,1978).

Diğer yandan arıza analizi çalışmaları, sonuçları sezgisel olmayan bir çok bilgi ve tecrübe elde edilmesine vesile olmuştur. Bu sürpriz sonuçlardan bir tanesi de tamamen saf dışı olmayla ilgili olan “aşınma kuralı” ile ilgilidir. (Burada açıklanan saf dışı olmak ; artık tamamen elden çıkacak üzere olmak, yani her an tamamıyla gayri faal olacak gibi bir konuma gelmeyi ifade etmektedir). Saf dışı olmak bir çok gerçek işletmede ispatlanamamıştır. Çünkü bir çok işletmenin bakım kısımlarında saf dışı olmuş malzemeye karşılaşılmamıştır(August,1999). Buda herhangi bir bakım programının en temel varsayımlarının tutarlılığını tehlike altına sokan bir başka unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. (Şekil 3.2)

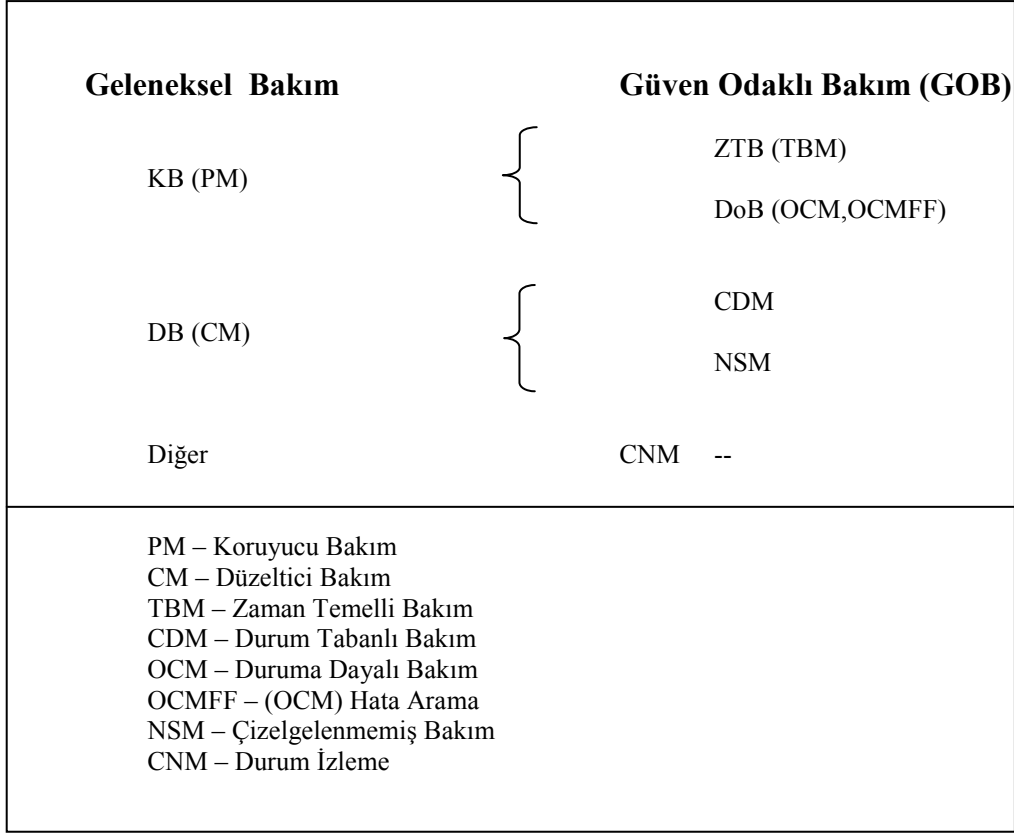




Şekil 3.2 Genel Arıza Dağılımları

GOB, beraberinde oldukça geniş bir bakım faaliyetleri şemsiyesini de getirmektedir. Bu şemsiye altına tam bakım analiziyle, muhtemel en iyi çözüm alanlarının bulunması da yer almaktadır.

GOB, her türlü bakım ortamı için Şekil 3.3'te de görüldüğü gibi standart geleneksel metodolojileri kullanarak, gerekli derecelendirme, değerlendirme ve değer katma işlemlerini desteklemektedir. Bu yeni yöntem daha önceki metotları da içine alarak test prosedürlerini kapsayacak şekilde araştırmaların genişletilmesini sağlamaktadır (August, 1999).



Şekil 3.3 Bakım Terimleri Haritası (August,1999)

Çevresel etkilerin artması ve bu organizasyonun uygulandığı platformların farklılık arz etmelerinden dolayı GOB bir takım uyarlamalara maruz kalmış ve uyarlanmış GOB olarak karşımıza çıkmıştır. Uyarlanmış Güvenirlik Odaklı Bakım (UGOB) temelde GOB ile aynı olmasa da, konunun özelliğine göre yoğunlaşılacak istenen dal veya konu üzerinde daha detaycı ve ayrıntılı bir yöntemler zincirinden oluşmaktadır. Aslında buna kısaca “Mantık ağacı analizi (Logic Tree Analysis ,LTA) denir.Özünde parçaların hiyerarşik düzeninin oluşturulması esnasında mantıksal olarak yer alan bir süreçtir.

Uyarlanmış GOB aslında rutin işlerin bir özeti ve basite indirgenmiş bir yansımasıdır. Eğer GOB noktaları ;

- Stratejik görev merkezli düşünmeyi,

- Sistem ihtiyaçları yaklaşımını,
- Fonksiyon analizini,
- Teknoloji değerlendirmesini,
- Gerçek tabanlı kara verme süreçlerini,
- Hata analizini,
- Derin süreç analizini,
- Sürekli gelişmeyi,
- Tamamlığı,
- Fonksiyonel arıza odaklanmasını,
- Risk yönetimi oryantasyonunu,
- Kar/maiyet analizini,
- Hata modları tanımları ve sınıflandırılmalarını kapsıyor ise ;

Uyarlanmış GOB’ da bakım faaliyetlerini basitleştirmeyi, standardizasyonu desteklemeyi, genel stratejileri tanımlamayı, gelişme gayretlerinin nereye ve nasıl olması gerektiğini açıklar.

Uyarlanmış GOB işletmenin tamamında veya bir bölümünde “Ne” tür bir çalışma gerektiğini tanımlanmaktadır. UGOB’ un bakım faaliyetleri bölümü ise “Neyin” nasıl olacağını göstermektedir. UGOB’ un ihtiyaç duyduğu iki aşamalı süreç ise ;

- GOB analizinin basite indirgenmiş olanını kullanarak, elindeki bilgilerle en uygun çözümlerin tanımlanması,
- Sonuçların uyarlanmasıdır (August,1999).

GOB çoğu zaman karar verenlere bakım faaliyetlerinin nasıl geliştireceğini direkt olarak söylemezken, Uyarlanmış GOB bu konuda bir gayret göstermenin etkili olup olmayacağını söylemektedir. UGOB üretim operasyonlarıyla, bakım faaliyetlerinin en iyi şekilde geliştirilmesi için gereken felsefeyi güçlendirmeye yardım etmektedir.

UGOB oluşan hataları yöneterek, işletmenin çıkarlarını en iyi şekilde korumak için nerede ve nasıl davranılması gerektiğiyle ilgili ip uçlarını vermektedir. Bu sistemde temel hedef üretim maliyetlerinin azaltılması, risk faktörlerinin kontrol altına tutulması, her kademedeki yöneticilere ve planlayıcılara doğru ve güvenilir bilgi akışının sağlanmasıdır. İşletmede bu yönde devam eden oluşumlar hem yöneticilerin , hem çalışanların, hem de o işletmeden çıkan ürünleri kullananların yararına ve mutluluğuna hizmet ettiği için bu sayede toplam fayda hesaplanarlardan çok daha fazla olmaktadır.

3.7. Güvenirlilik Odaklı Bakımdaki “Güvenirlilik”

Her birimiz günlük yaşamlarımızda aracımızın anahtarını çevirdiğimizde, bir telefon görüşmesi yapmayı denediğimizde ya da bir fotokopi makinesi, bilgisayar veya faks makinesi kullandığımızda güvenilirliğin rolünü her gün gözlemlemekteyiz. Tüm bu anlarda kullanıcılar bir makineden, yerine getirmek için tasarlandığı fonksiyonu, o fonksiyonun talep edildiği anda yerine getirmesi beklenir. Ancak, makineler ihtiyaç olduğu zamanlarda her zaman gerektiği gibi çalışmayabilir, ya da beklenen kalitede hizmet sağlayamayabilmektedir.

Güvenirlilik Odaklı Bakımda da güvenirlilik oldukça önemli bir yere sahiptir. Zira GOB’ un ilk ortaya çıkması havacılık sektöründe ortaya çıkan bakım sıkıntılarının yanı sıra yapılan bu bakımların ne kadar güvenilir olduğuyla da yakından ilgilidir.

Matematiksel olarak belirlenmiş, güvenirlilik “G” aslında durumsal olasılıktır. Toplam denemelerdeki kabul edilebilir sonuçlar da aynı manayı kapsamaktadır. Kısaca “G” parçaların, donanımların veya sistemlerin dizayn edilmiş fonksiyonlarını arıza yapmadan uygulama olasılığıdır. Bu olasılık;

- Başarılı sonuçların tanımları,
- Görev (planlanan amaç ve çevreye göre),
- Kazanç periyodu,
- Görev başlangıç periyodundaki durumlarıyla ilgilidir.

Temel güvenilirlik o ürünün başlıca görülebilir yokluğunda ortaya çıkar. Güvenilir ürünler, donanımlar ve cihazlar, oldukça kesin ve sıkı şartlar altında denenmiş kalite testlerinden geçmiş olanlardır. Güvenirlik bir değere sahiptir, bunun geliştirilmesi ve desteklenmesi analizleri oldukça karmaşıktır. Örneğin;

$$\text{Güvenirlik (R)} = 1 - \text{Güvenilmezlik}$$

Çoğu zaman güvenilirlik değil de güvenilmezlik veya arıza olasılığı bilinir. Bu durumda güvenilirlik :

$$0.99995 = 1 - 0.00005 \text{ tir.}$$

Güvenirlik R (0.99995) aslında % 99.995 olasılıkla başarılı sonuçlar verme olasılığı olarak ta tanımlanabilir.

Güvenirlik Odaklı Bakımda asıl önemli olan sistemlerin bir bütün halindeki güvenilirlikleridir. GOB uygulamalarında, sistem güvenilirlikleri araştırılırken yeni bir fonksiyon ortaya çıkmıştır. Bu fonksiyona “Tehlike Fonksiyonu (Hazard Function)” adı verilmiştir. Mısırlı İstatistikçi Elsayed’in kitabında da belirttiği bu fonksiyon GOB uygulamaların oldukça değer katmıştır.

3.8. Güvenirlik ve Tehlike Fonksiyonları

Tüketicilerin ürün üreticilerinden beledikleri kalite özelliklerinden birisi güvenilirliktir. Ancak maalesef, tüketicilere güvenilirliğin ne olduğu sorulduğunda cevap genellikle net değildir. Bazı tüketiciler bu kavramın ürünün her hangi bir bozukluk olmaksızın her zaman gereken şekilde çalışması, ya da ürünün kullanımı gerektiği tüm zamanlarda gerektiği şekilde çalışması anlamına geldiğini belirtirken bazıları ise güvenilirlikten ne kastettiklerini açıklayamamaktadır (Elsayed, 1996).

Güvenilirliğin geniş kabul gören bir tanımını aşağıdaki şekildedir:

Güvenilirlik, bir ürün ya da hizmetin, tasarım ve çalışma koşulları altında (ısı ya da voltaj gibi) belirli bir süre boyunca (tasarım ömrü) arıza olmaksızın gerektiği şekilde çalışma olasılığıdır (Elsayed,1996).

Diğer bir deyişle güvenilirlik, bir sistemin işlevini gerektiği şekilde yerine getirmedeki başarısının bir ölçüsü olarak kullanılabilir.

Elsayed'e göre n_o sayıda birbiriyle özdeş olmayan parçanın bir tasarım çalışma koşulları testine tabii tutulduğunu varsayalım. $(t - \Delta t, t)$ zaman aralığı süresince $n_f(t)$ arızalı parça ve $n_s(t)$ başarılı parça gözlemlendiğimiz varsayılırsa ;

$[n_f(t) + n_s(t) = n_o]$ olur. Güvenilirlik başarının birikimli dağılım fonksiyonu olarak tanımlandığından, t zamanındaki güvenilirliği $R(t)$ Elsayed'e göre aşağıdaki gibidir

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t)}{n_o} \quad (1.1)$$

Diğer bir deyişle, eğer T arızaya kadar olan süreyi ifade eden bir rassal değişken ise, bu durumda t zamanındaki güvenilirlik fonksiyonu

$$R(t) = P(T > t) \quad (1.2)$$

olarak ifade edilebilir.

Arıza $F(t)$ 'nin birikimli dağılım fonksiyonu $R(t)$ 'nin tamamlayıcısıdır, yani,

$$R(t) + F(t) = 1. \quad (1.3)$$

Eğer arızaya kadar olan süre T 'nin $f(t)$ şeklinde bir olasılık yoğunluk fonksiyonu var ise bu durumda eşitlik (1.3) aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir:

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (1.4)$$

Eşitlik (1.4)'ün t 'ye göre türevi alınarak

$$\frac{d^2 R(t)}{dt^2} = -f'(t) \quad (1.5) \quad \text{elde edilir.}$$

Örneğin, arızaya kadar olan sürenin dağılımı λ parametresi ile üstel ise, bu durumda

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (1.6)$$

ve güvenilirlik fonksiyonu da;

$$R(t) = 1 - \int_0^t \lambda e^{-\lambda \zeta} d\zeta = e^{-\lambda t}. \quad (1.7)$$

(1.7)'den bir parçanın verilen bir $[t_1, t_2]$ zaman aralığı içerisindeki arıza olasılığını güvenilirlik fonksiyonuna dayanarak aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz:

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = R(t_1) - R(t_2). \quad (1.8)$$

$[t_1, t_2]$ zaman aralığı içerisindeki arıza oranını, t_1 öncesinde hiç bir arızanın meydana gelmediği bilinmekte iken, aralık içerisindeki her bir zaman birimi için bir arızanın oluşma olasılığı şeklinde tanımlanmaktadır. Böylece arıza oranı aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\frac{R(t_1) - R(t_2)}{(t_2 - t_1) f(t)} \quad (1.9)$$

Eğer t_1 yerine t ve t_2 yerine $t + \Delta t$, koyulursa, (1.9)'u aşağıdaki şekilde yeniden yazabiliriz:

$$\frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t} = -R'(t) \quad (1.10)$$

Tehlike fonksiyonu, arıza oranının Δt sifıra yaklaşırken limiti olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle, Elsayed'e göre tehlike fonksiyonu ya da anlık arıza oranı eşitlik (1.10)'dan aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t} = -R'(t) \left[-\frac{d}{dt} R(t) \right]$$

ya da

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.11)$$

Eşitlik (1.5) ve eşitlik (1.11)'den aşağıdaki elde edilir: (Elsayed, 1996)

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(x) dx} \quad (1.12)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(x) dx \quad (1.13)$$

ve

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.14)$$

(1.5), (1.12), (1.13), ve (1.14) numaralı eşitlikler $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$, ve $h(t)$ ile ilgili anahtar eşitliklerdir.

Tehlike fonksiyonu ya da **tehlike oranı** $h(t)$, t zamanında her hangi bir arıza olmadığı biliniyor iken, t den $(t + dt)$ ye kadar olan zaman aralığında arıza olmasının koşullu olasılığıdır. Bu, şu şekilde ifade edilir

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.15)$$

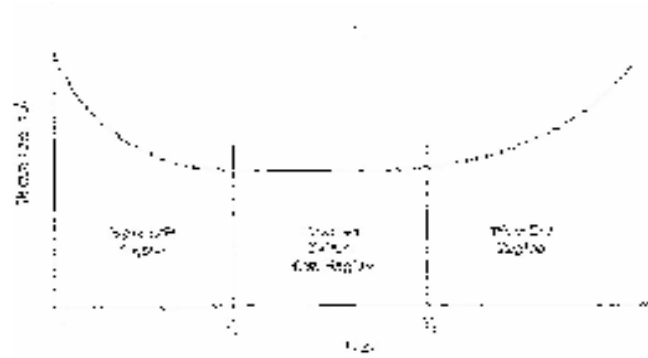
Birikimli tehlike fonksiyonu $H(t)$ 0 dan t ye kadar olan zaman aralığında arıza olmasının koşullu olasılığıdır:

$$H(t) = \int_0^t h(x) dx \quad (1.16)$$

Tehlike oranı aynı zamanda anlık arıza oranı olarak da adlandırılmaktadır. Tehlike oranı ifadesi sistem tasarımcıları, mühendisler ve tamir ve bakım ekipleri için büyük önem arz etmektedir. İfade, arızaya kadar olan zamanın (ya da arızalar arasında geçen zamanın), belirli bir tamir politikası dahilinde tamir ekibinin büyüklüğünün, sistemin kullanılabilirliğinin ve garanti maliyetlerinin tahmin edilmesinde faydalıdır. Ayrıca sistemin arızasının zaman içerisindeki davranışının incelenmesi için de kullanılabilir.

(1.19)'da görüldüğü üzere, tehlike oranı zamanın Şekil3.6'da gösterilen “banyo küveti” şeklindeki bir fonksiyonudur. T_1 zamanı erken arıza bölgesinin sonunu göstermektedir.

Erken arıza bölgesinin sonunda, arıza oranı nihai olarak sabit bir değere ulaşacaktır. Sabit arıza oranı süresince (T_1 ve T_2 arasında), arızalar tahmin edilebilir bir kalıp izlememekte ancak uygulanan yükteki değişikliklere bağlı olarak (yük tasarlanan yükten daha ağır ya da daha hafif olabilir) rassal şekilde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.4 Genel Arıza Eğrisi

Daha ağır bir yük, parçanın aşırı baskı altında kalmasına neden olabilir. Öte yandan daha hafif bir yük parçanın değerlerinde veya performansında zamanla meydana gelebilecek değişikliklere yol açabilir (parçanın normal çalışma koşulları altında maruz kaldığının aksi yönünde yük uygulanması) ki her iki durum da arızalara neden olacaktır. Materyal kusurları ya da üretim hatalarının rassallığı da sabit arıza-oranı bölgesi süresince arızalara neden olacaktır.

Arıza oranı eğrisinin üçüncü ve en son bölgesi eskime bölgesidir ki bu bölge T_2 'de başlar. Eskime bölgesinin başlangıcı arıza oranının sabit arıza oranı değerinin belirgin şekilde üzerinde artmaya başladığı zaman ve arızaların rassal olarak addedilemediği, daha ziyade parçaların yaşlanmasından kaynaklanmaya başladığı zaman fark edilebilir.

Bahsedilen bölge içerisinde, arıza oranı, ürün faydalı (tasarlanan) ömrüne ulaştıkça artar. Eskime bölgesinin etkisini minimize etmek için ürüne periyodik olarak koruyucu bakım yapılmalı ya da ürünün yenilenmesi düşünülmelidir.

Açıkça, tüm parçalar banyo küveti şeklindeki arıza oranı eğrisi sergilemez. Bazı elektronik ve elektrik parçalar eskime bölgesi sergilemezler. Bazı mekanik parçalar sabit arıza oranı göstermeyebilir ancak erken arıza oranı ile eskime bölgeleri arasında kademeli bir geçiş sergileyebilir. Her bir bölgenin süresi aynı zamanda bir parçadan (veya üründen) diğerine farklılık gösterebilir.

3.9. Sabit Tehlike

Bazı elektronik parçalar, örneğin transistörler, dirençler, entegre devreler ve kondansatörler ömürleri boyunca sabit arıza oranı sergilerler. Bu, tabii ki, genellikle bir yıl (10^4 saat) zaman dilimine sahip olan erken arıza bölgesinin sonunda meydana gelir.

Erken arıza bölgesi genellikle bu parçalar üzerinde “Burn-in” uygulanması ile azaltılır. “Burn-in”, üretim hatalarından kaynaklanan arızaları bertaraf etmek amacıyla parçaların kısa süreli olarak beklenen çalışma zorluklarının biraz üzerinde zorluklara tabi tutulması suretiyle gerçekleştirilir.

Sabit tehlike oranı fonksiyonu $h(t)$, aşağıdaki şekilde ifade edilir

$$h(t) = \lambda \quad (1.18)$$

Burada λ sabittir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu, $f(t)$, (1.19)’den şu şekilde elde edilir

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (1.19)$$

ya da

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.20)$$

ve

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx = \int_0^t \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1.21)$$

Güvenilirlik fonksiyonu, $R(t)$, aşağıdaki gibidir

$$R(t) = 1 - f(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.5)$$

$h(t)$, $f(t)$, $F(t)$, ve $R(t)$ 'nin grafikleri Şekil 3.7 ve Şekil3.8'de gösterilmiştir.

$t = 1/\lambda$,ise $f(1/\lambda) = \lambda/e$, $F(1/\lambda) = 1 - 1/e = 0.632$, ve $R(1/\lambda) = 1/e = 0.368$ olur.



Şekil 3.5 $h(t)$ ve $f(t)$ 'nin Grafiği



Şekil 3.6 $F(t)$ ve $R(t)$ 'nin Grafiği

Buradaki, önemli bir sonuçtur çünkü bir ürünün arızalanma olasılığını arızaya kadar olan ortalama tahmini zamanına ($1/\lambda$) göre 0.632 olduğunu açıklanmaktadır. Aynı zamanda, sabit-tehlike modelinin arıza zamanının üstel olarak dağıldığı gözlemlenmektedir.

Güvenirlilik odaklı bakım kavramı oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Günden güne gelişen ve giderek büyüyen bir yapıya sahiptir. Günümüzde bakım planlaması, bakım yönetimi konusunda ortaya çıkan veya çıkacak her yeni teori aslında GOB' un kendini

geliştirmiş bir yansıması olacaktır. Güvenirlik Odaklı Bakım bizlere bilimsel temeller ve yöntemleri kullanarak değerlendirmeler yapmayı aşlamıştır.

Bu değerlendirmelerin veya yöntemlerin kabul görmüş olmaları ve bilimsel temellere dayanması tek şarttır. Çalışmanın bundan sonraki uygulama ağırlıklı bölümünde, elde edilen verilerin GOB yaklaşımıyla ele alınması amacıyla Markov zinciri ile incelenmiş ve çıkan sonuçlar irdelenmiştir. Daha sonra ise GOB tarzıyla yakından ilgili olan Tehlike fonksiyonu (Hazard Function) ele alınarak veri analizi yapılmıştır.

Tehlike fonksiyonu (Hazard Function) ele alınarak yapılan veri analizinde Elsayed'in "Reliability Engineering" adlı kitabıyla beraber verilmiş olan Güvenirlik analizi yazılımı(Reliability Analysis Software) olan *Relest* (Reliability Estimation) programı kullanılmıştır. Relest programının içeriğinde veri girişi, veri analizi ve sonuçların yazdırılması gibi bölümler bulunmaktadır. Programın temel amacı olasılık dağılımlarının hata zamanlarına uydurmaktır. Program uygun dağılımın seçilebilmesi için bazı tanımlanmış dağılım modellerini kullanıcıya sunar ve daha sonra analizi gerçekleştirir.

4. MARKOV SÜRECİ

İzleyen bölümde bahsedilen konular arasında; Markov sürecinin tanımı, özellikleri, Markov Zinciri, Markov Zincirinin durumları, ve uzun dönem olasılıkları bulunmaktadır.

4.1. Markov Sürecinin Tanımı

Markov süreci, şu anda meydana gelen bir faaliyetin gelecekteki durumu hakkında bilgi edinmeyi mümkün kılan bir yöneylem araştırma tekniğidir. (Resnick, 1992).

Markov analizinde geçmişteki olaylardan bağımsız olarak, sadece mevcut süreç durumuna bağlı kalan sürecin, gelecekte nasıl gelişeceğini içeren olasılıkları bulunduran farklı bir özellik vardır. Uygulamada pek çok süreç bu tanıma uymakta ve dolayısıyla da Markov analizi olasılık modelinin önemli bir türünü oluşturmaktadır (Öztürk, 1997).

Verilen bir sistemin durumu sabit veya tesadüfi zaman aralıklarında olasılıklı biçimde değişebiliyorsa stokastik süreç vardır. Markov analizinde verilen durumdan daha ileri geçiş olasılığı, onun ulaştığı biçime değil, sadece şimdiki duruma bağlı olma özelliğini bulunduran rassal bir süreçtir. Buna göre denilebilir ki, geçmişteki ve şimdiki faaliyetlerin olasılıklarından yararlanarak onların gelecekteki olasılıklarını belirlemek Markov analizinin temelini oluşturmaktadır (Öztürk,1997).

4.2. Markov Özelliği ve Markov Süreci

Bir rassal sürecin Markov zinciri olabilmesi için izleyen temel özelliklere sahip olması gerekir:

Eğer;

$$\mathbf{P} \{X_{t+1}=j | X_0=k_0, X_1=k_1, \dots, X_{t-1}=k_{t-1}, X_t=i\} = \mathbf{P} \{X_{t+1}=j | X_t=i\},$$

$t = 0, 1, \dots$, ve sırasıyla her i ve j , k_0, k_1, \dots, k_{t-1} .

ise $\{X_t\}$ rassal süreci Markov özelliğine sahiptir denir. Bir Markov sürecinde bir önceki durum verilerek bir sonraki durumun koşullu olasılığının daha önceki durumlardan bağımsız olma özelliğine Markov özelliği denir. $\mathbf{P} \{X_{t+1}=j | X_t=i\}$ koşullu olasılığı geçiş olasılıkları olarak adlandırılır. Her bir i ve j için;

$$\mathbf{P} \{X_{t+1}=j | X_t=i\} = \mathbf{P} \{X_1=j | X_0=i\}, \quad t=0, 1, \dots$$

şeklinde tanımlanan bir adımlı geçiş olasılıkları durağan geçiş olasılıkları diye adlandırılır ve p_{ij} ile ifade edilir. Bu, durağan geçiş olasılıklarının zamana bağlı olarak değişmediğini gösterir. Dolayısıyla her bir i ve j için n ($n = 0, 1, 2, \dots$) adımlı geçiş olasılığı;

$$\mathbf{P} \{X_{t+n}=j | X_t=i\} = \mathbf{P} \{X_n=j | X_0=i\}, \quad t=0, 1, \dots$$

şeklinde ifade edilir ve $p_{ij}^{(n)}$ olarak gösterilir (Hillier ve Lieberman, 1990).

4.3. Markov Zinciri

Markov süreci aşağıdaki koşulları karşıladığında Markov zinciri adını alır (Hillier ve Lieberman, 1990).

- Olası durumlar kümesi sonludur.
- Başlangıç olasılıkları biliniyordur.
- Durağan geçiş olasılıkları vardır.
- Markov özelliği vardır. (Bir Markov sürecinde bir önceki durum verilerek bir sonraki durumun koşullu olasılığının daha önceki durumlardan bağımsız olma özelliği.)

Markov zinciri, Markov sürecinin özel bir sınıfıdır (Taha,1992).

E_j , $j = 0,1,2, \dots$, herhangi bir zamanda bir sistemin sonucunun ayrıntılı ve ayrık olay halini gösterebilir. Başlangıçta (t_0 anında) sistem bu durumlardan herhangi birinde olabilir. $a_j^{(0)} = 0, 1, 2, \dots$ ise, E_j halindeki sistemin t_0 'daki kesin olasılığı olsun. Ayrıca sistemin Markov özelliğine sahip olduğu da varsayalım (Taha, 1992).

$$p_{ij} = \mathbf{P} \{X_{t_n} = j | X_{t_{n-1}} = i\}$$

ifadesi, t_{n-1} 'deki i halinden t_n 'deki j haline bir adımlı geçiş olasılığı olarak tanımlanmış olsun. Ayrıca, bu olasılığın zaman boyunca durağan olduğunu da kabul edelim. E_i halinden E_j haline geçiş olasılıkları aşağıdaki matris gösterimiyle daha da kullanışlı hale getirilebilir:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} \underline{0} & \underline{1} & \underline{2} & \underline{3} & \dots \\ \underline{0} & p_{00} & p_{01} & p_{02} & p_{03} & \dots \\ \underline{1} & p_{10} & p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots \\ \underline{2} & p_{20} & p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots \\ \underline{3} & p_{30} & p_{31} & p_{32} & p_{33} & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots \end{pmatrix}$$

Sabit ve zamandan bağımsız bütün P_{ij} geçiş olasılıkları içerdiğinden, bu \mathbf{P} matrisi homojen geçiş matrisi ya da stokastik matris adını alır. P_{ij} olasılıklarının

$$\sum_j p_{ij} = 1, \quad \text{tüm } i' \text{ ler için}$$

$$p_{ij} \geq 0, \quad \text{tüm } i \text{ ve } j' \text{ ler için}$$

koşullarını da sağlaması gerekmektedir. Markov zincirine bakılacak olursa, E_j durumlarına ilişkin $\{a_j^{(0)}\}$ başlangıç olasılıklarıyla birlikte bir \mathbf{P} geçiş matrisi, bütünüyle bir Markov Zinciri tanımlar (Taha, 1992).

4.4. Markov Zincirinde Durumlarının Sınıflandırılması

Markov zincirinde geçişlerin ve yapısının analizi için, Markov zincirindeki durumların farklı türleri arasında ayırmanın yapılması gerekir (Öztürk, 1997).

Geçişli Durum: Eğer durum i 'den durum j 'ye ulaşılabilirken, durum j 'den durum i 'ye ulaşamaz ise durum i geçişli bir durumdur (Öztürk, 1997).

i durumundan j 'ye götüren bir yol var ise i 'den j 'ye ulaşılabilir. i ve j 'nin birbiriyle iletişim içinde olduğunu söyleyebilmek için j 'ye i 'den ve i 'ye j 'den ulaşılabilir. Eğer, tüm durumlar birbiriyle iletişim içindeyse Markov zinciri indirgenemez (Öztürk, 1997).

Yutucu Durum: Eğer bir adımda geçiş olasılığı $P_{ii} = 1$ olursa, i durumu yutucu durumdur. Yutucu duruma girildiğinde, bu durum asla terk edilemez. k adım sayısı ve $k > 1$ olmak üzere, i . duruma k 'nın düzenli katlarında tekrar geçiş yapıyorsa matris peryodik matris denir. Tüm durumlar peryodik değilse **aperiyodiktir** (Öztürk, 1997).

Yinelenen Durum: Eğer bir durum geçişli değilse ona yinelenen durum adı verilir.

Bir Markov zincirinde tüm durumlar aperiodyk, yinelenen, birbirleriyle iletişim içinde ve indirgenemez ise bu Markov zinciri *ergodiktir* (Öztürk, 1997).

4.5. Uzun Dönem Olasılıklar ve Geçiş Olasılıkları

Bir Markov zincirinin P ve $\{a_j^{(0)}\}$ değerleri verildiğinde, belirli sayıda geçiş yaptıktan sonra, sistemin uzun dönem olasılıkları aşağıdaki gibi belirlenir: $\{a_j^{(n)}\}$, n geçiş sonra sistemin t_n 'deki uzun dönem olasılığı olsun. $\{a_j^{(0)}\}$ cinsinden $\{a_j^{(n)}\}$ genel ifadesi ve P , şu şekilde belirlenir:

$$a_j^{(1)} = a_1^{(0)} \cdot p_{1j} + a_2^{(0)} \cdot p_{2j} + a_3^{(0)} \cdot p_{3j} + \dots = \sum_i a_i^{(0)} p_{ij}$$

Aynı zamanda,

$$a_j^{(2)} = \sum_i a_i^{(1)} p_{ij} = \sum_i \left[\sum_k a_k^{(0)} p_{ki} \right] p_{ij} = \sum_k a_k^{(0)} \left[\sum_i p_{ki} p_{ij} \right] = \sum_k a_k^{(0)} p_{kj}^{(2)}$$

olup buradaki $p_{kj}^{(2)} = \sum_i p_{ki} p_{ij}$ iki adımlı ya da ikinci dereceden geçiş

olasılığıdır. Bu olasılık, sistemin k halinden j haline iki tam geçişle gitmesinin

olasılığıdır. Buradan,

$$a_j^{(n)} = \sum_i a_i^{(0)} \left[\sum_k p_{ik}^{(n-1)} p_{kj} \right] = \sum_i a_i^{(0)} p_{ij}^{(n)}$$

sonucu çıkarılır. Bu ifadedeki $p_{ij}^{(n)}$, n adımlı veya n . derece geçiş olasılığı olup,

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_k p_{ik}^{(n-1)} p_{kj}$$

yineleme formülü ile verilir. Genel olarak, tüm i ve j 'ler için,

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_k p_{ik}^{(n-m)} p_{kj}^{(m)}, \quad 0 < m < n$$

olur. Bu denklemler Chapman-Kolmogorov denklemleri diye bilinir (Çakmak, 2003).

Daha yüksek bir $\|p_{ij}^n\|$ geçiş matrisi, matris çarpımıyla doğrudan elde edilebilir.

Şöyle ki,

$$\|p_{ij}^{(2)}\| = \|p_{ij}\| \cdot \|p_{ij}\| = P^2$$

$$\|p_{ij}^{(3)}\| = \|p_{ij}^2\| \cdot \|p_{ij}\| = P^3$$

ve genel olarak da

$$\|p_{ij}^{(n)}\| = P^{n-1} \cdot P = P^n$$

yazılır. Dolayısıyla, uzun dönem olasılıklar vektör olarak tanımlandıklarında,

$$a^{(n)} = \{a_1^{(n)}, a_2^{(n)}, a_3^{(n)}, \dots\}$$

ve buradan da

$$a^{(n)} = a^{(0)} \cdot P^n$$

yazılır (Taha, 1992).

4.6. İlk Geri dönüş ve Beklenen Tekrarlanma Süresi

Bir önceki bölümde i durumundaki sürecin n dönem sonra j durumunda olma olasılığının ne olacağını belirlemek için ele alınmıştır. Ancak, i durumundan j durumuna ilk geçiş süresi için yapılan geçişlerin sayısı hakkında da bir takım olasılık tahminleri yapılabilir. Durum i 'den durum j 'ye gitmedeki süre uzunluğuna ilk geçiş süresi adı verilir. $j=i$ olduğunda ilk geçiş süresi, sadece sürecin başlangıç durumu olan i 'ye dönünceye kadar olan geçişlerin sayısıdır. Bu durumda i durumu için bulunan ilk geçiş zamanına *geri dönülen veya tekrar eden süre* adı verilir (Öztürk, 1997).

İlk geçiş süreleri genelde rassal değişkenler olup olasılık dağılımları kendileri ile ilişkindir. Bu olasılık dağılımı sürecin geçiş olasılıklarına bağlıdır. Durum i 'den durum j 'ye ilk geçiş süresinin n 'e eşit oluncaya kadarki olasılığı $f_{ij}^{(n)}$ şeklinde ifade edilir ve gösterilir. Tüm n için $f_{ij}^{(n)}$ 'nin hesaplanması zor olabilir. Bu beklentiye, yani durum i 'den durum j 'ye beklenen ilk geçiş süresini (sayısını) μ_{ij} ile gösterelim (Öztürk, 1997).

$$\mu_{ij} = \begin{cases} \infty & \text{eğer } \sum_{n=1}^{\infty} f_{ij}^{(n)} < 1 \\ \sum_{n=1}^{\infty} n f_{ij}^{(n)} & \text{eğer } \sum_{n=1}^{\infty} f_{ij}^{(n)} = 1 \end{cases}$$

$\sum_{n=1}^{\infty} f_{ij}^{(n)} = 1$ olduğunda μ_{ij} aşağıdaki denklemi sağlar.

$$\mu_{ij} = 1 + \sum_{k \neq j} P_{ik} \mu_{kj}$$

$i=j$ olduğunda μ_{ij} 'ye *beklenen ilk geri dönüş süresi* denir (Öztürk, 1997).

Tüm diğer durumlardan verilen durum j 'ye ilk geçiş süresini bulmak için ;

$\mu_{ij} = 1 + \sum_{k \neq j} P_{ik} \mu_{kj}$ denklemi diğer durumların her birinin denklemini kurmak için faydalı olur. n durumlu bir süreç için $n-1$ bilinmeyen çözüm kümesi, $n-1$ doğrusal denklemler kümesidir (Öztürk, 1997).

Uzun dönemli ergodik Markov zincirinde;

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{ij}^n = a_j, \quad a_j > 0$$

ve

$$a_j = \sum_{i=0}^M a_i P_{ij}, \quad j = 0, 1, \dots, M \text{ için} \quad \sum_{i=0}^M a_j = 1$$

a_j , Markov zincirinin *durağan durum olasılığı* olmaktadır. Bu Markov zincirinin *beklenen tekrarlama süresi* ise;

$$\mu_{ij} = \frac{1}{a_j} \quad \text{veya} \quad a_j = \frac{1}{\mu_{ij}}, \quad j = 0, 1, \dots, M \text{ için şeklinde}$$

yazılır (Öztürk, 1997).

4.7. Markov Zinciri Uygulamaları

Markov zinciri aslında bir çok farklı branşta kendini gösterme fırsatı bulmuş farklı bir modelleme ve çözüm yaklaşımıdır. İlk bakıldığında sadece istatistiksel amaçlara hizmet edebilecek bir yapıya sahipmiş gibi görülse de dünyada sağlık sektöründen ekonomik planlamalara kadar farklı dallarda kullanılmaktadır.

2003 yılında Seattle’de bulunan Washington Üniversitesinde yapılan bir çalışmada A.B.D.’nin dört farklı bölgesinin 1953 ve 1998 yılları arasındaki meteorolojik verileri kullanılarak bir Markov zinciri modellenmesi yapılmış, bu sayede bahsi geçen bölgelerdeki bahar ve yaz aylarındaki fırtına ve hortum hareketleri önceden tespit edilmeye çalışılmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada Markov zinciri modellenmesi iklim bilimi alanında üstün performans sergilemiştir (Drton vd., 2003).

New York’ta bulunan Buffalo Üniversitesi endüstri mühendisliği bölümünde 2006 yılında yayınlanan bir makaleye göre ise ÜB yöntemine risk duyarlılığı yaklaşımı yine Markov Karar Süreci ve yenileme yaklaşımları kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede üretim maliyetlerinin ve risk faktörlerinin azaltılması hedeflenmiş ve Markov modellenmesi başarıya ulaşmıştır (Gosavi, 2006).

Literatüre bakıldığında Markov çalışmaları arasında görülen başlıklardan çoğunluğunu bakım faaliyetleri kapsamaktadır. Örneğin ağ altyapılarının bakım planlamaları yine genetik algoritmalar ve Markov zinciri modellemeleri sayesinde en iyi şekilde yapılabilmektedir. Bahsi geçen çalışmada ağ sistemlerinin altyapılarının çalışma zamanları ve performanslarının önceden belirlenmesi sağlanmıştır (Morcoux ve Lounis, 2004).

Bilgisayar bakımı alanında yapılan bir başka çalışmada ise Markov zinciri modellenmesi sayesinde hata analizi yöntemiyle en iyi üretim bakımı politikasının tespit edilmiştir. Bu sayede yeniden işleme ve garanti maliyetleri azaltılarak en az maliyetle üretim ve denetleme politikası oluşturulmuştur (Wang ve Sheu, 2002).

Bakım alanında bir başka çalışma da 2005 yılında Nebraska Üniversitesi tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Markov yöntemi sayesinde bir parçanın en iyi bakım politikası belirlenmeye çalışılmıştır. Kullanılan yaklaşım sayesinde ilgili parçanın kullanılabilirliği en büyüklenirken en uygun KB zaman aralıkları belirlenmiştir (Chan ve Asgarpoor, 2005).

5. BAKIM PLANLAMASI ANALİZİ UYGULAMASI

Markov Süreci ve Güvenirlilik Odaklı Bakım konularına uygulama teşkil edecek olan verilerin nereden alındığı, bu işletmenin tanımı, uygulanan bakım yönetimi ve analiz safhaları izleyen bölümde ele alınmıştır.

5.1. Havacılık Sektörü ve Bakım Uygulamaları

Bakım planlamaları her işletmenin en temel gereksinimleri arasında yer almaktadır. Her ne kadar bazı yarı mamul seviyesindeki ürünleri alıp, insan gücüyle birleştirip nihai ürün haline getiren firmaların böyle bir problemi olmasa da, özellikle havacılık sektörünün tümü, bakım uygulamalarının merkezinde yerini korumaktadır.

Sivil havacılık sektöründe uçak maliyetlerinin çok yüksek olması, sektörün iş yükü çok ağır ve ihtiyacı karşılayacak kadar çok kaynak bulunmamasından dolayı, gerek yolcu taşımacılığı, gerekse kargo taşımacılığında en önemli husus, günün yaklaşık 22 saati devamlı uçuş yapan uçakların bakımlarının tam ve eksiksiz olarak yapılmasıdır. Bu bakım faaliyetlerinde ortaya çıkan aksaklıklar, kaynak planlaması olarak nitelendirilen uçuş planlarında aksamalara veya rötarlara neden olmakta ve sonuç olarak bakım maliyetlerinden çok daha yüksek maliyetlere yol açmaktadırlar.

Uçak bakım çizelgelemesi veya ataması bir hava yolu şirketinin günlük yaşantısında vermesi gerektiği en ana kararlardan bir tanesidir. Her ne kadar bakım çizelgelemesi en alt düzeyde bir yer almasına rağmen maliyetlerden tasarruf edilmesi potansiyeli yüksek olan bir bölümdür. Bakım çizelgelemesi kolay anlaşılan fakat çözülmesi zor bir problemdir. FAA tarafından istenen ve farklı seviyelerde bakım kontrollerine maruz kalan uçakların hangisinin, hangi bölümde yer alıp bakım yerlerini belirlemek, ne zaman nereye uçacağına karar vermek ve bunları belirli bir uçuş programına uyarlamak bir bakım çizelgelemesidir. Amaç, uçuş dönemlerine görevli uçakları belirlerken oluşan bakım maliyetlerini maliyetlerini enküçükmektir (Sriram ve Haghani, 2002).

Askeri havacılık sektöründe de durum çok farklı olmasa da biraz değişkenlik göstermektedir. Bir takım planlı veya ani olarak gelişen durumlara ortaya çıkacak ihtiyaçlara aksaksız cevap verebilmesi gereklidir. Diğer bir ifadeyle, uçağın uçuşa hazır durumda beklemesi ve planlı görevine giderken bir arıza çıkarmaması beklenir.

Havacılık sektöründeki bakım ihtiyaçlarının, yanlış veya yetersiz yapılması durumunda, bu kadar yüksek zarar bedelleri ödeyecek olması veya arızanın ortaya çıkması esnasında direkt olarak insan hayatının tehlikeye girdiği bir başka sektör çok nadir bulunur. İşte bu sebeplerden dolayı bakım planlaması veya bakım analizine en çok ihtiyaç duyulan sektörde havacılık sektörü olarak öne çıkmaktadır.

Sivil havacılık Bakım yönergesine göre bir uçağın emniyetle uçabilmesi için önce bunu hak etmesi gerekir. Bu FAA' kurallarında açıklanmayan fakat iki aşamadan oluşan bir takım test yönergelerinden ibarettir. Bu testler; (1) uçak tip tasarımına uymalı (sertifikasyonu yapılmış olmalı), (2) uçak uçuş için emniyetli bir durumda olmalıdır. Bütün bu prosedürler tamamlandıktan sonra uçuşlar başlar fakat beraberinde bakımı da getirir. Çünkü FAA'ya göre uçak tiplerine göre belirlenmiş ve uçuş saatine dayalı olarak yapılması zorunlu bir takım bakım faaliyetleri vardır. Bu faaliyetler;

- Periyodik değişimler,
- Özel arıza aramaları,
- Röntgen ile çatlak kontrolü,
- Durum kontrolü testleri,
- Yağlama işlemlerini kapsamaktadır.(King,1986)

Genel olarak FAA tarafından yapılması zorunlu bakım faaliyetleri, tip A,B,C ve D kontrollerini içerir. Tip A kontrolü ilk büyük kontroldür ve yaklaşık 65 saatte bir (haftada bir) yapılmaktadır. Tip B ise ikinci büyük kontrol olup 300-600 saatte bir yapılır. Tip C ve D ise en büyük kontrollerdir. Uçağın uçuş saati ve yaşına göre yaklaşık bir ile dört yılda bir yapılan ve yaklaşık bir ay kadar sürebilir (Clarke vd., 1997).

Gerek sivil, gerek askeri havacılık sektöründe de olsa ortak olan tek şey uçağın güvenilirliğidir. Havacılık alanında da güvenilirliğin ifade şekli önceki bölümlerde açıklananlardan farklı değildir. Örneğin bir uçağın en az 1.000.000 saat arıza yapmadan uçmasını isteniyorsa, o uçağın arıza oranı $\lambda_{arıza} = 0.0000001$ 'dir. Aynı uçağın 10 saatlik uçuştaki güvenilirliği de $R_{güvenirlik} = 0.99999$ olarak bulunur.

Uçakların güvenilirliği, bir takım alt sistemlerin güvenilirlik katsayılarının fonksiyonu

$$R_{güvenirlik} = R_{yapı} \times R_{kumanda} \times R_{elektrik} \times \dots$$

olduğuna göre ve bir uçak filosunun üç yılda ortalama bir milyon saat uçuş yaptığını göz önünde bulundurulursa güvenilirlik hesaplamaları ve gerçekleşme durumları ile bu sektörde çok sık karşılaşılmaktadır (Bazovsky, 1961).

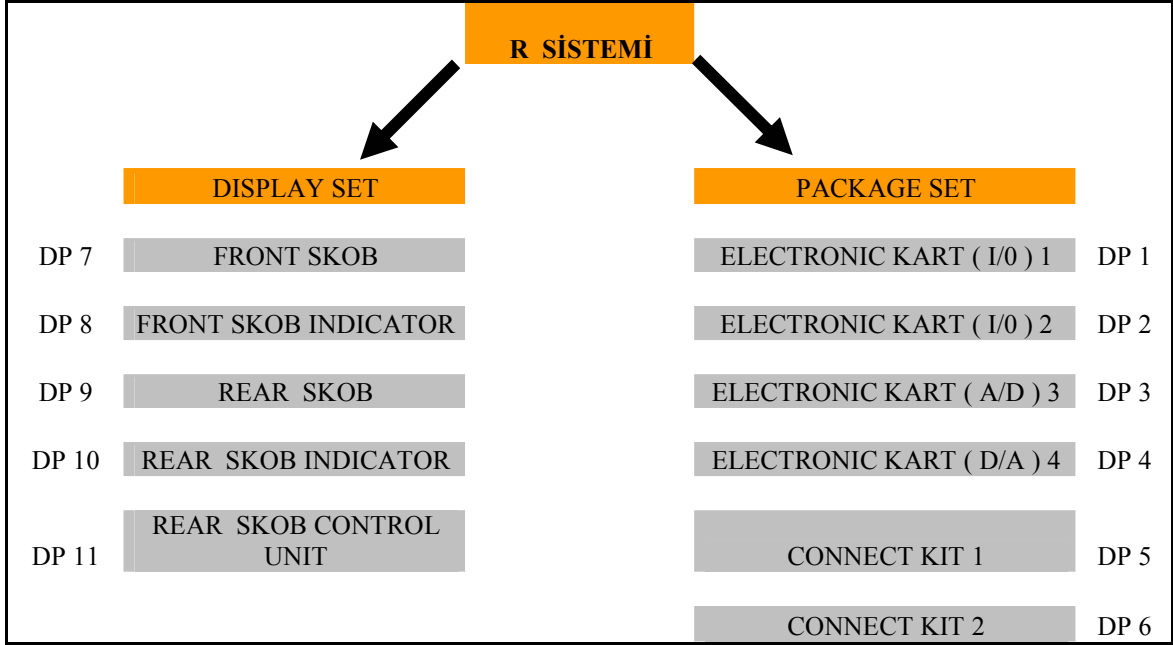
5.2. Uygulamannın Yapıldığı “R” Atölyesinin Tanıtımı

Örnek uygulama olarak analiz edilen işyeri, kamu sektöründe yer alan, askeri havacılık unsurları kapsamında bakım faaliyetleri icra eden R atölyesidir. Söz konusu analizde R atölyesinin uygulamakta olduğu bakım yöntemleri de ele alınmıştır.

Çalışmanın yapıldığı atölye 1959 yılında faaliyete başlamıştır. İlgili kamu kuruluşunun envanterinde yer alan farklı muharip unsurların R sistemlerine göre zaman içerisinde revizyonlardan geçirilmiştir.

R atölyesinde kullanıcı seviyesi bakım ve onarım faaliyetleri icra edilmektedir. Anılan atölyede iş yükü, F uçaklarının envantere girmesiyle oldukça artmıştır.

F uçağı R sistemi genel olarak 11 adet değiştirilebilir parçadan (DP, “Line Replacable Unit, LRU”) oluşmuştur. Sistemin yapısı Şekil 5.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.1 “R” Sistemi Parçaları

5.3. İşletmede Uygulanan Bakım Yöntemleri

Ortalama 160 saatte bir arıza sıklığıyla karşılaşılan R atölyesinde, herhangi bir bakım planlaması yapılmadığı gibi, bakım anlayışı sadece ortaya çıkan arızalara en kısa sürede müdahale edilerek R sistemini faal hale getirilmesinden ibarettir.

R atölyesinde uygulanan bakım yöntemi 3.2’nci bölümde açıklanan arızı bakım yöntemine uymaktadır.

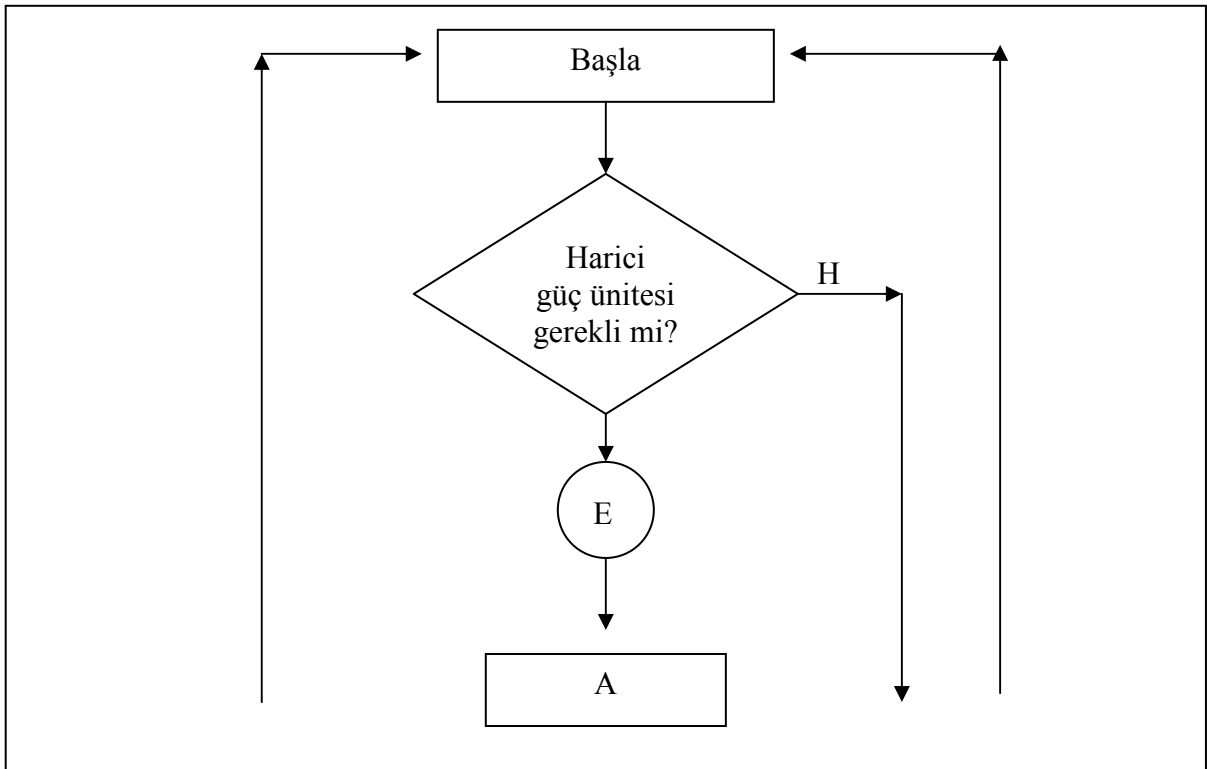
İşletmenin daha üst düzey seviyedeki diğer branş ve atölyeleri incelendiğinde, bakım faaliyetlerinin daha planlı ve düzenli olarak icra edildiği gözlemlenmiştir.

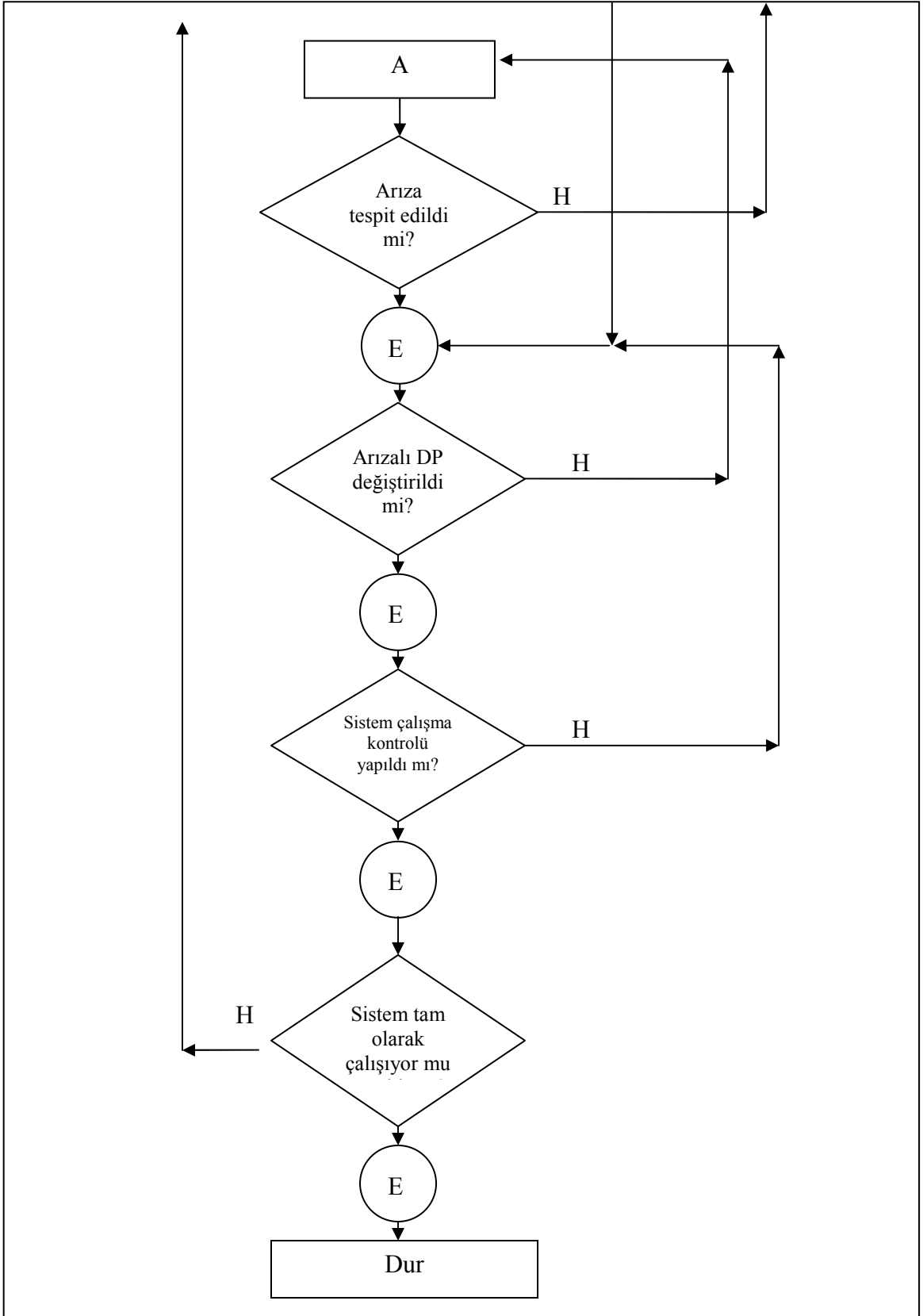
Bu farklılığın sebebinin söz konusu diğer birimlerle ilgili olarak yayınlanmış talimname ve yönergelerde, bakım periyotlarının belirtilmiş olmasıdır.

R sistemine ait ortalama onarım süresi, standart iş zamanları yönergelerine göre yaklaşık 4,5 saat olması gerekmektedir. Oysa veriler incelendiğinde bu tamir zamanı 10 saatin üzerine çıktığı görülmektedir. Bunun sebebi incelendiğinde genellikle arızalı DP belirlendikten sonra stoklarda bulunmayan ünitenin, İDS'den (İkmal Dağıtım Sistemi) sipariş verilmesi ve tedarik sürecidir.

İDS'de bazı parçalara ait değişim sıklıkları, otomatik olarak hesaplanarak stoku kalmayan parçalar için otomatik olarak sipariş verilebilmesine karşın, R sisteminin parçaları yüksek maliyetli olmasından dolayı bu opsiyon kullanılmamaktadır. İDS'ye manuel olarak bir sarf sıklığı girilebilmektedir.

Biolini'ye göre bir sistemdeki arızayı ortadan kaldırmanın en temel ihtiyaçları, sistematik bir yapıyla en alt seviyeden başlayan kalite ve güvendir (Biolini, 2004). R atölyesinde arıza arama işlemlerini bu yöntemleri andıran basit bir arıza arama yöntemi ile gerçekleştirmektedir Şekil 5.2'de bu yöntem görülmektedir.





Şekil 5. 2 Arıza Arama Diyagramı

5.4. Kabuller ve Çözüm Yaklaşımı

Yüksek lisans eğitimim de öğrenmiş olduğum bilgilerin ve endüstriyel sektördeki uygulamalar ışığında, R atölyesinin çalışma şeklini tek üretim hatlı imalathane modeliyle özleştirilmiştir. Ülkemizin hava sahasının bekası için yapılan her bir görevin, çok yüksek değerde kazanç getireceğini ve herhangi bir sebeple planlandığı halde yapılamayan görevlerin da yine çok yüksek miktarda maliyete sebep olacağı kabul edilmiştir. Bir uçağın her an uçacakmış gibi faal olarak hazır bulundurulmasını, 24 saat vardiya usulü üretim yapan tek hatlı imalathane olarak kabul edilmiştir. Ele alınan veriler sadece XX01 kuyruk nolu uçağa ait olup bu uçaktaki diğer sistemlere ait veriler çalışma dışında bırakılmıştır. XX01 kuyruk nolu uçakta bir R sistem arızası nedeniyle planlanan görev arızanın ortaya çıkması veya arızanın tamirinin devam ediyor olması durumunda bütün üretim hattının durduğu kabul edilmiştir.

Normal olarak hafta sonları uçuş mesaisi bulunmamaktadır. Fakat bazı özel görevler geldiğinde hafta sonu gündüz veya gece olarak uçuş yapılabilir. R sistemi uçağın en temel olarak ihtiyaç duyduğu ve arızası esnasında pilot el kitabında “Dikkat” ibaresiyle belirtilen ve düzeltici işlem yapılmaması durumunda can ve mal kayıplarına yol açabilecek bir ünitesidir.

Sistem çalışma kontrolü ve arıza yazılması, göreve gitmeden önce yapılmakta ve eğer göreve gitmeye engel olacak ciddi bir arıza söz konusu ise göreve gitmekten vazgeçilmektedir. Arızanın tipi itibariyle göreve gitmeye engel olmayan bir arıza var ise görev sonunda arıza yazılması şeklinde olmaktadır. Uçağın defterine pilot tarafından arıza yazılması durumunda bu arıza idari birim tarafından bilgisayar sistemine aktarılmaktadır. Arızayla ilgili ihtisas, giderici işlem sonunda uçağın faaliyetini, yine aynı bilgisayar sistemine giriş yapmak suretiyle deklare etmektedir.

Analizlere temel teşkil eden veriler bu bilgisayar sisteminden elde edilmiş olan ve XX01 kuyruk nolu uçağın R sistemine ait veriler olup, gizlilik seviyesi ihtiva etmelerinden dolayı veriler değiştirilmiştir.

R atölyesindeki arızalara ait yaklaşık dört yıllık veri incelendiğinde ortalama 6,5 günde bir arıza giderme işlemi yapıldığı sonucu ortaya çıkmıştır. Ortalama yapılan uçuşların % 22'sinde R arızası meydana gelmektedir. R sistemi arızası nedeniyle planlandığı halde icra edilemeyen görev oranında % 11'dir.

XX01 nolu uçağa ait veriler arasında 2001 uçuş yılı (01.09.2001) başlangıcından 2005 yıl sonuna kadar olan (30.12.2005) arıza günü, saati, tipi ve planlı uçuş, gerçekleşen uçuş bilgileri yer almaktadır. Toplam 225 adet arıza ve 1975 sorti uçuş kaydı analiz edilmiştir.

Arızaların birbirleri arasındaki gelişleri incelenerek geçiş olasılıkları matrisi oluşturulduğunda sistemin şu andaki durumuna ait veriler ile gelecekteki davranış olasılığı tanımlanabilir. Bu süreçte ;

- Sonlu sayıda durum,
- Durağan geçiş olasılıkları,
- Başlangıç olasılıkları,
- Markov özelliği (Bir karar sürecinde bir önceki durum verilerek bir sonraki durumun koşullu olasılığının daha önceki durumlardan bağımsız olması)

bulunmasından dolayı Markov süreci olarak tariflenmiştir. Daha sonra arızaların tipleri bazında, Güvenirlilik Odaklı Bakım uygulamaları kapsamında Elsayed tarafından yazılan "Reliability Engineering" adlı kitapta anlatılan Tehlike Fonksiyonu analizi, yazarın kendisi tarafından yapılmış olan RELEST programı yardımıyla yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

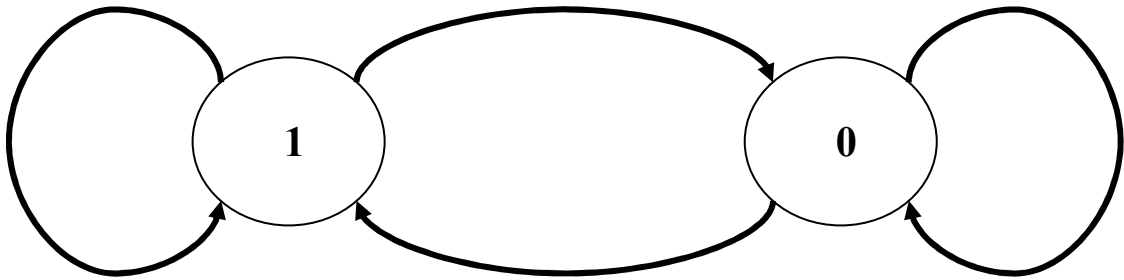
5.5. Durumların Belirlenmesi

XX01 kuyruk nolu uçağa ait veriler analiz edilirken en temel iki durum olduğu görülmektedir. Bunlar ;

1: Sistemin faal olması ,

0: Sistemin arızalı olması, durumlarıdır.

Durumlar arası geçiş diyagramı Şekil 5.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5. 3 Durumlar Arası Geçiş Diyagramı

R sisteminin uçuştan önce kontrol edilmesi ve birim zamanın uçuştan uçuşa geçen zaman olmasından dolayı sürekli zaman modeli olarak ele alınmış ve toplam dört adet izleyen geçiş durumları ortaya çıkmıştır. Bunlar;

1-1 : Görev sonu faal. Planlı göreve gitmeden önce ve görev dönüşü yapılan kontrolde sistem faal olarak çalışıyor,

1-0 : Görev sonu gayri faal. Planlı göreve gitmeden önce yapılan kontrolde sistem faal olarak çalışıyor, fakat görev dönüşü yapılan kontrolde sistem arızalı,

0-1 : Bakım sonu faal. Daha önceden deklare edilmiş bir arızanın tamiri yapılmış ve planlı göreve gitmeden önce yapılan kontrolde sistem faal olarak çalışıyor,

0-0 : Arıza devam ediyor. Daha önceden deklare edilmiş bir arızanın tamiri devam ettiği için planlı göreve gidilemiyor olmasıdır.

Başlangıç geçiş olasılıkları matrisi oluşturulurken F uçağının R sisteminin arıza verileri ve uçuş kayıtları örtüştürülerek (11, 10, 01, 00) geçiş durumlarına uygun olan atamalar yapılmıştır.(EK-2) Daha sonra bu geçiş durumlarının birbirleriyle olan oranları incelenerek başlangıç geçiş olasılıkları matrisi oluşturulmuştur.

5.6. Başlangıç Geçiş Olasılığı ve Başlangıç Geçiş Matrisi

Analize konu olan veriler, XX01 kuyruk numaralı uçağa ait R sistem arızaları EK-1 ve XX01 kuyruk numaralı uçağa ait uçuş kayıtları ile, arızaların örtüştürülmüş hali EK-2'de verilmiştir. EK-2'de ayrıca icra edilen görevlerin hangi durumla tanımlandığı da yer almaktadır. EK-2'de koyu gri renkte gösterilen hücreler o görevin R sistem arızası nedeniyle icra edilemediği bilgisini ifade etmektedirler.

Toplam 1975 adet veri incelenip durumları değerlendirildikten sonra bu verilerden 228 adedi 0-0 durumuna, 208 adedi 0-1 durumuna, 209 adedi 1-0 durumuna ve geriye kalan 1330 adet veri de 1-1 durumuna ait olduğu anlaşılmıştır. Bu analiz neticesinde başlangıç durum matrisi Şekil 5.4'te yer aldığı gibidir.

$$P = \begin{array}{c|cc} & \underline{0} & \underline{1} \\ \hline \underline{0} & 0,520 & 0,480 \\ \underline{1} & 0,135 & 0,865 \end{array}$$

Şekil 5.4 Başlangıç Durum Olasılıkları Matrisi

5.7. Arızalar Arası Geçiş Olasılığı ve Matrisi

Arızalar arası geçiş durumları incelendiğinde (EK-1) aynı anda birden fazla arıza durumuyla karşılaşıldığı görülmüştür. Arızalar arası geçiş durumu daha doğru olarak anlaşılabilmesi ve veri analizinin düzgün yapılabilmesi amacıyla birden fazla olan veriler, o arıza türüne ait olan yalın verilerin aritmetik ortalamasının hesaplanması ve ağırlıklı yüzde usulüyle, doğrusal orantılı olarak parçalanarak birbirini takip eden arızalar olarak ele alınmıştır.

R sisteminde toplam 11 adet arıza olma durumu söz konusudur. Arızalar arası geçiş matrisinde yer alan durumlar sistemde oluşan arıza kodları ile eşleştirilmiştir. Örneğin 3ncü durum DP 3 arızasını temsil etmektedir. Bundan sonraki aşamada arızalar arası geçiş olasılıkları matrisi oluşturulmuştur. Şekil 5.5 arızalar arası geçiş olasılıkları matrisini göstermektedir. Matris EK-1’de açıklanan R sistemine ait arıza verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Matrisin oluşturulması, ilk arızadan sonra birbirini takip eden arızaların işlenmesi suretiyle ortaya çıkmıştır. p_{ij} durumu incelenek olursa i nolu DP arızasından sonra j nolu DP’ nin arıza yapma olasılığı olarak

değerlendirilmiştir. $\sum_j p_{ij} = 1$, tüm i 'ler ve $p_{ij} \geq 0$, tüm i ve j 'ler için şartları sağlandığı için matris homojen geçiş matrisi olarak değerlendirilmiştir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,10526	0,15789	0,21053	0,10526	0,10526	0,15789	0,00000	0,10526	0,05263	0,00000	0,00000
2	0,12903	0,03226	0,09677	0,12903	0,09677	0,12903	0,09677	0,09677	0,12903	0,03226	0,03226
3	0,06452	0,22581	0,12903	0,09677	0,06452	0,06452	0,03226	0,09677	0,09677	0,12903	0,00000
4	0,04762	0,19048	0,00000	0,00000	0,19048	0,19048	0,09524	0,04762	0,04762	0,09524	0,09524
5	0,13793	0,13793	0,13793	0,03448	0,13793	0,10345	0,03448	0,03448	0,20690	0,03448	0,00000
6	0,16667	0,12500	0,08333	0,12500	0,12500	0,00000	0,04167	0,08333	0,16667	0,04167	0,04167
7	0,06250	0,12500	0,18750	0,12500	0,12500	0,06250	0,00000	0,18750	0,06250	0,06250	0,00000
8	0,00000	0,05000	0,35000	0,00000	0,20000	0,05000	0,05000	0,05000	0,20000	0,00000	0,05000
9	0,03571	0,10714	0,07143	0,14286	0,10714	0,14286	0,14286	0,10714	0,00000	0,10714	0,03571
10	0,00000	0,20000	0,13333	0,13333	0,06667	0,06667	0,06667	0,00000	0,20000	0,06667	0,06667
11	0,00000	0,14286	0,00000	0,00000	0,14286	0,14286	0,14286	0,14286	0,14286	0,14286	0,00000

Şekil 5.5 Arızalar Arası Geçiş Olasılıkları Matrisi

Matris yapısı incelendiğinde; i 'den j 'ye ulaşılabilirken, j 'den de i 'ye ulaşılabilmesinden ötürü geçişli bir durum yoktur ve tüm durumlar birbirleriyle iletişim içerisinde. Bu nedenle Markov zinciri indirgenemez.

$p_{ii} = 1$ durumu olmadığı için yutucu durum yoktur ve döngü olmadığı için matris aperyodiktir. Sonuç olarak bu Markov zinciri ergodiktir.

İzleyen bölümde başlangıç geçiş olasılıkları matrisi ve arızalar arası geçiş olasılıkları matrisinin uzun dönemdeki olasılıkları belirlenmiştir.

5.8. Uzun Dönem Olasılıkları ve Beklenen Tekrarlanma Sürelerinin Belirlenmesi

Düzenli Markov zincirlerinde P geçiş olasılıkları matrisi varken ve n sonsuza giderken P^n matrisi a limit vektörüne yakınsar.

$\bar{a} : (a_1, a_2, a_3, \dots, a_r)$, r: durum sayısı

$\bar{a} = \bar{a} \cdot P$ ve $\sum_{j=1}^r a_j = 1$, ve $\mu_{ij} = \frac{1}{\prod_j}$ olmaktadır.

Buradan hareketle bulunan başlangıç durum olasılıkları ve arızalar arası geçiş olasılıklarına ait uzun dönem olasılıklarıyla beklenen tekrarlanma süreleri/sayıları EK-3'te açıklanmıştır.

Başlangıç olasılıkları matrisinden elde edilen uzun dönem sonuçlarına göre sistemin genel olarak % 22 olasılıkla arızalı olması beklenirken %78 olasılıkla sistemin faal olması beklenmektedir.

Arızalar arası geçiş olasılıkları matrisinden elde edilen uzun dönem sonuçları ve beklenen tekrarlanma süreleri Şekil 5.6'de gösterilmiştir.

Durum	Beklenen Uzun Dönem Olasılığı	Beklenen Tekrarlanma Süreleri (yıl/adet)
<u>1</u>	0,07262	3,27
<u>2</u>	0,13851	1,71
<u>3</u>	0,20019	1,18
<u>4</u>	0,09120	2,60
<u>5</u>	0,04246	9,81
<u>6</u>	0,09683	2,45
<u>7</u>	0,06293	3,76
<u>8</u>	0,08646	2,73
<u>9</u>	0,10966	2,20
<u>10</u>	0,06906	3,45
<u>11</u>	0,03003	7,90
Toplam	1.0	

Şekil 5. 6 Arızalar Arası Uzun Dönem Geçiş Olasılıkları

Bütün bu veriler göz önüne alındığında en çok tekrarlanan arızanın DP 3 ve sırasıyla DP 2 olduğu görülmektedir. DP 3 sistemde bir adet bulunmaktadır. Bu kartın asli görevi, analog dataları, dijital datalar haline getirmektir. DP 2 ise sistemde iki adet bulunan arabirim (interface) kartından bir tanesidir. Uzun dönem sonuçları ve beklenen tekrarlanma sürelerinin detayları bölüm 6'da ele alınmıştır.

5.9. Tehlike Fonksiyonu Kullanarak Sistemin Güvenirliğinin Belirlenmesi

EK-4'de yer alan XX01 kuyruk numaralı uçağa ait aylık arıza sayıları verileri kullanılarak arıza yoğunluk fonksiyonu ($f_e(t)$), tehlike oran fonksiyonu ($h_e(t)$), birikimli dağılım fonksiyonu ($F_e(t)$) ve güvenilirlik fonksiyonunu ($R_e(t)$) EK-4 açıklanan formül ve Relest programı yardımıyla analiz edilmiştir.

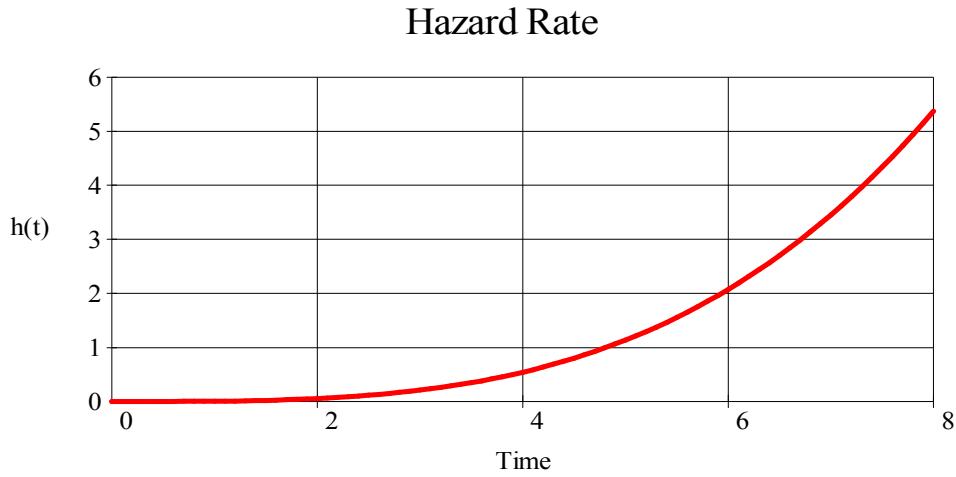
Analize temel teşkil eden veriler öncelikle Arena programı vasıtasıyla değerlendirildikten sonra ortaya çıkan dağılımın Weibull dağılıma yakınsandığı belirlenmiştir. Daha sonra Relest programı yardımıyla veriler analiz edilmiştir. Analiz sonuçları EK-5'te açıklanmış ve bölüm 6'da yorumlanmıştır.

Bu sonuçlar özetlenecek olursa sistem, yaklaşık 20 ay kadar sabite yakın bir seyir gösteren tehlike oranına sahiptir, daha sonra hızlı bir yükselişe giren tehlike oranı zaman arttıkça artan bir yapı haline dönüşür.

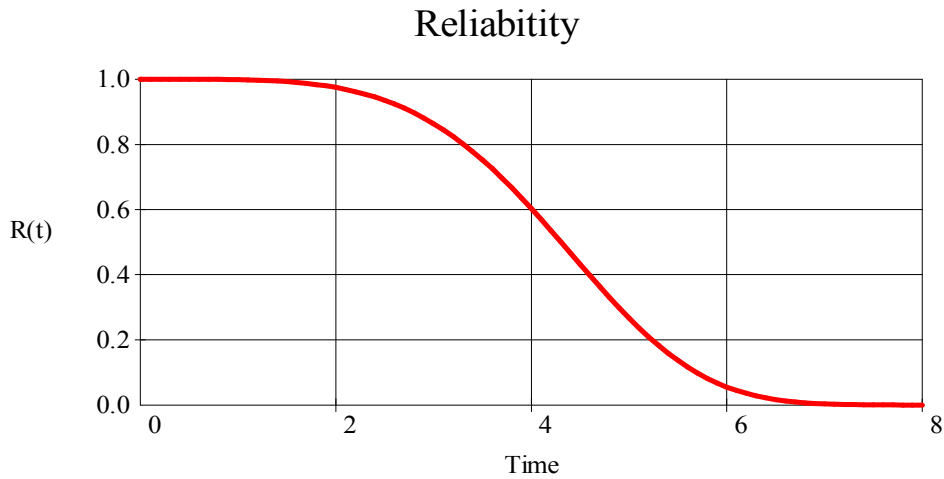
Sistemin genel güvenirligi 20 aydan sonra %75 güven seviyesinin altına düştüğü açıkça görülmektedir. Sistemin tehlike oranı yaklaşık Şekil 5.7'de de görüleceği gibi, yaklaşık 4 yıl sonra 5 seviyesinin üzerine çıkmış ve tamamıyla güvenilmez hale gelmektedir.

Özellikle havacılık sektörü gibi yüksek güvenilirlik oranlarının arzu edildiği durumlarda bu kadar yüksek bir arıza oranının çıkması oldukça tedirgin edicidir. F

uçağının yaşının oldukça büyük olması ve güvenilirlik katsayılarının(Şekil 5.8) düşük olduğu göz önüne alınırsa R sisteminin Şekil 3.6'da gösterilen genel arıza dağılımının ikinci bölgesinden üçüncü bölgesine doğru geçmeye başladığı bölgede yer aldığı değerlendirilmiştir.



Şekil 5. 7 Verilerin Tehlike Oranı Grafiği



Şekil 5. 8 Verilere Göre Ortaya Çıkan Güvenirlik Grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada askeri havacılık sektöründe bakım yapan bir branşa ait faaliyetlerin analizi yapılmıştır. Atölyeye ait veriler incelenerek Markov süreci yardımıyla uzun dönem olasılıkları ve beklenen tekrarlanma süreleri hesaplanmıştır. Tehlike fonksiyonu yardımıyla XX01 kuyruk numaralı uçağın R sisteminin güvenilirliği incelenmiştir.

Yapılan gözlemler neticesinde öncelikle ilgili R atölyesinin günümüze kullanımı son derece azalan bir yöntem olan arıza bakım modeliyle çalıştığı tespit edilmiştir. Atölyenin ve bağlı olduğu daha yukarı seviyeler incelendiğinde TKY faaliyetlerinin var olduğunu fakat tamamıyla amacına uygun olarak yürütülemediği gözlemlenmiştir.

Anılan işletmede bireysel öneri sisteminin ve kalite çemberlerinin var olduğu tespit edilmiş olsa da, etkin olarak kullanılmadığı, gerekli teşviklerin yeterli olarak yapılamadığı tespit edilmiştir.

R sisteminin uzun zamandır envanterde bulunan bir sistem olması ve çok yüksek arıza oranlarına sahip olmadığı bilinse de, mevcut durumdan daha iyi bir duruma geçilmesi ihtiyacı gerek üst kademeler, gerekse de işi yapan atölye tarafından istenmemiştir.

Herhangi bir arıza azaltma veya önleme planı bulunmayan atölyede, işler klasik hiyerarşik düzen çerçevesinde yürütülmektedir. Yıllık uçuşlardaki, göreve arıza nedeniyle gidilememe yüzdesi yaklaşık %11 seviyesinde olması sistem yöneticileri tarafından normal olarak değerlendirilmektedir.

Yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde R atölyesinin arıza giderme işini başarıyla yaptığı fakat planlama faaliyetlerine gereken önemin verilemediği gerçeği ortaya çıkan temel sonuçlar arasındadır.

Genel olarak çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar aşağıda 6zetlenmektedir:

1. 6ncelikle b6t6n at6lye 6alışanlarının en kısa s6re i6erisinde TKY eğitimlerine başlatılması gerektiği, 6zellikle 6st ve 6st kademedeki y6neticilerin bu eğitimlerde 6nderlik yapmasının, havacılık bakım y6ntem ve metodjilerinin anlaşılmasına temel teşkil ederek daha etkin bir 6alışma ortamı yaratılmalıdır.
2. Hi6bir zaman elde olan ile değil, daima daha iyiye doğru y6nelmek i6in 6alışılması gerektiği, bilinci yapılacak eğitim faaliyetleri sayesinde kazandırılmalıdır.
3. 6zellikle Tehlike Fonksiyonu analizi kısmında elde edilen veriler incelendiğinde olasılık yoğunluk grafiğine g6re (EK-5) yaklaşık 1,5 ay i6inde başlayan arızaların ikinci yılda en yoğun d6zeye ulaştığı tespit edilmiştir.
4. Yapılan analiz sonucunda ortaya 6ıkan tehlike oranı grafiği incelendiğinde sistemin g6venirliği bir yıldan itibaren azalmaya başlamaktadır.Yine aynı d6nemde birikimli arıza olasılığı da y6kselmeye başlamaktadır.
5. Sistemin genel olarak g6venirliği incelendiğinde on ay sonra bir d6şmeye başlamakta ve yaklaşık iki yıl sonra %50 seviyesinin altına d6şmektedir. Sistem g6venirliğinin arttırılması i6in kaliteli bakım anlayışı yerleştirilmeli ve 6nleyici bakım y6ntemleri harekete ge6irilmelidir.
6. Periyodik bakım faaliyeti sadece uzun fabrika seviyesi bakım 6ıkışlarında değil de EK-5'te elde edilen sonuçlara g6re, d6zenli olarak en az %99 g6venirlik seviyesinin muhafazası i6in yaklaşık 180 g6nde bir olacak şekilde planlanmalıdır.

7. Tehlike fonksiyonu yardımıyla elde edilen veriler ışığında, sistemin güvenilirliğinin oldukça az olduğunun tespit edildiği, özellikle gece ve yoğun kış şartlarının olduğu meteorolojik ortamlarda R sistemine duyulan ihtiyacın çok olması ve yüksek güvenilirliğinin gerekmesi nedeniyle, bir takım güven artırıcı tedbirlerin alınmasının zorunlu olduğu değerlendirilmektedir.
8. Uçakların her gün ilk göreve gitmeden önce yapılan kontrollere R sisteminin de eklenmesinin görevden vazgeçilme oranını azaltacağı değerlendirilmiştir.
9. İDS sistemine bu analiz sonucunda elde veriler ışığında DP 3, DP 2, DP 9, ünitelerinin, beklenen tekrarlanma sürelerine göre gereken miktarda stokta hazır bulundurmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.
10. Bir önceki maddede anılan DP'ler için R sistemiyle ilgili olan talimname ve yönergelere zamana bağlı olarak değişim gerektiren parça statüsünün eklenmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.
11. Özellikle DP 3 ve DP 2 nolu alt parçaların maliyetlerinin değerlendirilerek uygun ikame yönteminin ve değişim zamanlarının belirlenmesi için daha detaylı bir çalışma yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akal, Z.**, 1985, Toplam kalite yönetimi ve performans ölçme ve değerlendirme sistemleri, Verimlilik dergisi toplam kalite özel sayısı, Ankara, 84-94 s.
- Anderson, J.C., Dooley K. and Rusntusanatham, M.**, 1994, Traning for effective continous quality improvement, Quality progress,december 57-59 p.
- August, J.**, 1999, Applied reliability centered maintenance, Pennwell Inc.,Oklahoma, USA, 500 p.
- Axelrod, R.H.**, 1994, Making employee participation programs work, Quality progress, April, 14-15 p.
- Bazovsky, I.**, 1961, Reliability threory and practice, Prentice-Hall Inc.,292p.
- Belek, H.T. ve Toprak, T.**, 1997, Endüstriyel tesislerde makina performansının izlenmesi ve bilgisayar destekli bakım planlaması, Seminer notları, İTÜ Makina Fakültesi, Gümüşsuyu, İstanbul
- Biolini, A.**, 2004, Reliability engineering, Springer-Verlag, 544 p.
- Bowles, J. and Geissler,P.**, 1992, Bringing total quality to sales, AQC Quality Press, 120p.
- Chan, G.K. and Asgarpoor,S.**, 2005, Optimum maintenance policy with Markov processes , Electric Power Research , April 2006, 452-456 p.
- Chatterjee, S. ve Yılmaz M.**, 1993, Quality confusion:too many gurus, not enough disciples , Business horizons , May-June, 17-22 p.
- Clarke, L.W., Johnson, E.L., Nemhauser, G.L., Zhu, Z.**, 1997, The aircraft rotation problem. Annals of Operations Research 69, 33-46 p.
- Çakmak, H.**, 2003,Temizlik kağıdı üretim hatları için önleyici bakım aralıklarının analizi, Y.Lis.Tz., 69 s.
- Doğan, E.**, 2002, Eğitimde toplam kalite yönetimi, Academyplus yayınevi, Antalya, 172 s.
- Drton, M., Marzban, C., Guttorp, P.**, 2003, Markov chain model of tornadic activity,University of Washington, Seattle, 2-8 p.
- Elsayed, A.E.**, 1996, Reliability Engineering, Addisson Wesley Longman Inc., Massachusetts, USA, 737 p.
- Gallimore, K. and Penlesky. R.**, 1988, A Framework for developing maintenance strategies, Production and Anventory Management Journal Vol:29, No:1,16-19.
- Goetsch D., I. and Davis S.**, 1994, Introduction to total quality, productivity and competitiveness, Prentice Hall International Editions, 14-18 p.

Gosavi, A., 2006, A risk-sensitive approach to total productive maintenance, Automatica, Volume 42, August 2006, 1321-1330 p.

Gross, J.M., 2002, Fundamentals of preventive maintenance, Amacom press, New York, USA, 120 p.

Hillier, F.S., and Lieberman, G.J., 1990, Introduction to operations research, MacGraw-Hill Publishing Company, 954 p.

[Http://www.mpm.org.tr/sozluk/default.asp?dict=e](http://www.mpm.org.tr/sozluk/default.asp?dict=e), Milli Prodüktivite Merkezi web sayfası, Verimlilik terimleri sözlüğü.

Hubar, A., 2000, Toplam verimli bakım, Yıldız Teknik Üniversitesi kalite ve verimlilik yayınları, 65-69. (<http://www.ytukvk.org.tr/arsiv/kariyerplanlama7.htm>)

Juran, J.M., 1992, Juran on quality by design: New steps for planing quality into goods and services, Juran Institute Inc. 440-444 p.

Kano, N., 1993, A Perspective on quality activities in American firms , California management review, vol:35, no:3 17-19 p.

Karabulut, A., 1999, Toplam üretken bakım yönetimi, Y.Lis.Tz., 99 s.

Kavrakoğlu, İ., 1993, Kalite güvencesi ISO 9000 ve toplam kalite, Rekabetçi yönetim dizisi 1, İstanbul, 13-14 s.

Kavrakoğlu, İ., 1992, Toplam kalite yönetimi, Önce kalite dergisi Kalder yayınları, 1. Baskı, Yayın No:1, İstanbul, 32-37 s.

King, F.H., 1986, Aviation maintenance management, Southern Illinois University Press, 209 p.

Kobu, B., 2005, Üretim yönetimi, , Avcıol basım-yayın, İstanbul, 9. Basım, 497 s.

Kovancı, A., 2001, Toplam kalite yönetimi, fakat nasıl?, Sistem yayıncılık 1. Baskı, 323 s.

Levitt Joel, 2003, Preventitive & predictive maintenance, Industrial Press, NY, 125 p.

Matteson, T. D., 2003, Airline experience with reliability-centered maintenance, Nuclear Engineering and Design, Volume 89, Issues 2-3 , 385-390 p.

Morcus, G., and Lounis, Z. 2004, Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms, Automation in Construction , Volume 14, January 2005, 129-142 p.

Nolan, F.S. and Heap, H.L., et al, 1978, Reliability centered maintenance, United Airlines, San Francisco, CA, Dec., NTIS AD / A066579, 344 p.

Özden, Y., 2002, Eğitimde yeni değerler, Pegema yayıncılık, Ankara, 4. Baskı, 162 s.

- Öztürk, A.**,1997, Yöneylem araştırması, Bursa Ekin kitabevi, 590 s.
- Rausand, M.**, 2002, Reliability centered maintenance, Reliability Engineering & System Safety Volume 60, Issue 2 , 121-132 p.
- Resnick, S.**,1992, Adventures in stochastic proses, Birkhauser Boston, 626 p.
- Sachon, M. and Paté-Cornell, E.**, 2000, Delays and safety in airline maintenance, Reliability Engineering & System Safety, Volume 67, Issue 3 , 301-309 p.
- Seiichi, N.**, 1988, TPM development program, Implementing total maintance, Productivity press, Cambridge, Massachusetts, 12-18 p.
- Shirose, K.**, 1992,TPM, Total productive maintance, New implementation program in fabrication and assembly industries, 547 p.
- Sriram, C., and Haghani, A.**, 2002, An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment, Transportation research part a: policy and practice volume 37, issue 1 , January 2003, 29-48 p.
- Steinbacher, H.R., and Steinbacher, N.L.**, 1993, Tpm for America: what it is and why you need it, Productivity Press Inc.,169 p.
- Stephen G., and Weimerskirch A.**, 1994, Total quality management: Strategies and techniques proven at today's most succesfull companies; John Wiley and Sons. Inc., 207 p.
- Swanson, L.**, 2001, Linking maintainance strategies to performance, International Journal of Production Economics, 70, 237-244.
- Şişman, M.**, 1997, Eğitimde toplam kalite yönetimi ve kültür, Eğitim ve bilim dergisi, Cilt:21, Sayı:105, Ankara, 61-67 s.
- Taha, A.H.**, 1992, Operations research, Macmillan Publishing Company, 822 p.
- Theil,H. and Gertsbakh,B.I.**, 1977, Models of preventive maintenance, North Holland Publishing Company, 257 p.
- Wang, C.H. and Sheu, S.H.**, 2002, Determining the optimal production–maintenance policy with inspection errors: using a Markov chain, Computers & Operations Research, January 2003, 1-17 p.
- Yapıcı, M.**, 2004, Toplam kalite yönetimi, Bilim, eğitim ve düşünce dergisi, Cilt 4, Sayı 1, 10-14 s.(<http://www.universite-toplum.org/text.php3?id=176>)
- Yıldız,G. ve Ardıç,K.**,1994, İşletmelerde toplam kalite yönetimi, Sakarya Üniversitesi, 84s.

EKLER

Ek.1.XX01 Kuyruk Numaralı Uçağa Ait R Sistem Arızaları

Ek.2.XX01 Kuyruk Numaralı Uçağa Ait Uçuş Sortisi, Arıza ve Durum Bilgileri

Ek.3.Başlangıç Durum ve Arızalar Arası Geçiş Matrisi Uzun Dönem Olasılıkları ve
Beklenen Tekrarlama Süreleri

Ek.4.Relest Programı Yardımıyla Yapılan Veri Analizi (Tehlike Fonksiyonu Analizi)

Ek.5.Relest Programı Yardımıyla Yapılan Tehlike Fonksiyonu Analizi Grafikleri

Ek.1 XX01 NUMARALARI UÇAK "R" SİSTEMİ ARIZALARI

S/N	Arıza Başlangıç Tarihi	Arıza Başlangıç Saati	Arıza Bitiş Tarihi	Arıza Bitiş Saati	Arıza Kodu		Tamir Süresi (Dk)	Bir Sonraki Arızaya Kadar Geçen Süre (Dk.)
1	01.09.01	11:22	01.09.01	13:47	DP	7	145,00	2925
2	03.09.01	14:32	03.09.01	18:49	DP	1 8	257,00	5801
3	07.09.01	19:30	08.09.01	11:30	DP	2	960,00	12856
4	17.09.01	09:46	17.09.01	17:00	DP	9	434,00	11036
5	25.09.01	08:56	25.09.01	14:34	DP	1	338,00	5607
6	29.09.01	12:01	30.09.01	22:01	DP	2 5	2040,00	6654
7	05.10.01	12:55	05.10.01	16:32	DP	5	217,00	5388
8	09.10.01	10:20	09.10.01	14:10	DP	6	230,00	14161
9	19.10.01	10:11	20.10.01	14:22	DP	11	1691,00	4838
10	23.10.01	23:00	24.10.01	14:44	DP	10	944,00	11545
11	01.11.01	15:09	04.11.01	17:44	DP	9	4475,00	.
12	14.11.01	08:22	14.11.01	16:00	DP	6	.	.
13	26.11.01	14:13	26.11.01	22:00	.	.	.	.
.	13.09.05	14:34	.	.	.	.	2201,20	9280,4
.	21.09.05	.	.	.	.	.	349,00	11321,9
.	.	.	.	.	DP	3	438,90	6605,7
.	.	13:51	05.10.05	04:52	DP	6	900,90	12116,5
.	.	14:48	13.10.05	22:52	DP	8	483,80	2074,3
212	15.10.05	09:26	15.10.05	12:01	DP	5	155,30	7168
213	20.10.05	11:29	21.10.05	10:38	DP	9	1388,30	11472,6
214	29.10.05	09:50	29.10.05	22:52	DP	8 3	781,50	5412
215	02.11.05	17:04	02.11.05	19:37	DP	3	153,30	10954,1
216	10.11.05	10:11	11.11.05	21:01	DP	1	2089,90	5151,5
217	15.11.05	10:53	15.11.05	17:33	DP	5	400,20	9852,4
218	22.11.05	13:45	22.11.05	15:18	DP	5	92,90	13015,7
219	01.12.05	16:14	01.12.05	21:14	DP	3	300,10	16709,5
220	13.12.05	11:43	13.12.05	16:01	DP	1	257,70	1394,6
221	14.12.05	15:16	15.12.05	05:47	DP	3	871,70	1859
222	16.12.05	12:46	16.12.05	16:23	DP	2 6	216,30	5665,6
223	20.12.05	14:48	21.12.05	05:47	DP	2	898,40	10822,1
224	28.12.05	18:09	28.12.05	22:40	DP	4	271,70	2185,4
225	30.12.05	11:06	30.12.05	21:53	DP	2	647,40	

Ek.2 XX01 UÇAĞA AİT UÇUŞ SORTİSİ, ARIZA VE DURUM BİLGİLERİ

S/N	DURUM		UÇUSA GİDİŞ TARİHİ	KALKIŞ SAATİ	UÇUŞ SÜRESİ	İNİŞ SAATİ	ARIZA BAŞLANGIÇ GÜNÜ/SAATİ		ARIZA BİTİŞ GÜNÜ/SAATİ	
1	1	0	01.09.01	10:00	01:15	11:15	01.09.01	11:22	01.09.01	13:47
2	0	1	03.09.01	09:30	01:15	10:45				
3	1	0	03.09.01	12:05	01:15	13:20	03.09.01	14:32	03.09.01	18:49
4	0	1	04.09.01	09:30	01:15	10:45				
5	1	1	04.09.01	12:05	01:15	13:20				
6	1	1	05.09.01	10:05	01:15	11:20				
7	1	1	05.09.01	12:05	01:45	13:50				
8	1	1	06.09.01	11:15	01:15	12:30				
9	1	1	07.09.01	14:40	01:15	15:55				
10	1	0	07.09.01	17:50	01:15	19:05	07.09.01	19:30	.	.
.
.
.	.	.	.	15:50	01:10	17:00	05.12.02	08:03	05.12.02	16:32
.	.	.	.	13:50	01:10	15:00				
.	1	0	10.12.02	17:30	01:15	18:45	10.12.02	19:20	11.12.02	03:20
503	0	0	11.12.02	09:30			11.12.02	08:55	11.12.02	.
504	0	0	11.12.02	14:20			.	.	.	.
505	0	1	12.12.02	09:30	01:10	.	.	.	.	.
.
.
.	.	.	.	10:10	01:25	11:35				
.	.	.	26.12.05	17:10	01:40	18:50				
.	.	1	27.12.05	10:10	01:40	11:50				
.	1	1	27.12.05	21:20	01:55	23:15				
1971	1	1	28.12.05	09:30	01:55	11:25				
1972	1	0	28.12.05	14:50	01:00	15:50	28.12.05	18:09	28.12.05	22:40
1973	0	1	29.12.05	10:10	00:50	11:00				
1974	1	0	29.12.05	21:40	01:10	22:50				
1975	0	0	30.12.05	11:20			30.12.05	11:06	30.12.05	21:53

Ek-3 Başlangıç Durum ve Arızalar Arası Geçiş Matrisi Uzun Dönem Olasılıkları
ve Beklenen Tekrarlama Süreleri

$$\mathbf{P} = \begin{array}{c|cc} & \underline{0} & \underline{1} \\ \hline \underline{0} & 0,520 & 0,480 \\ \underline{1} & 0,135 & 0,865 \end{array}$$

$$\Pi = \Pi \cdot \mathbf{P} \text{ ise}$$

$$(\Pi_0, \Pi_1) = (\Pi_0, \Pi_1) \cdot \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{pmatrix} \text{ ise}$$

Buradan hareketle

$$\text{min: } -x_1 - x_2 ;$$

$$R1: -0.4771 x_1 + 0.1358 x_2 = 0;$$

$$R2: 0.4771 x_1 - 0.8642 x_2 = 0;$$

$$R3: +x_1 + x_2 = 1;$$

$$x_1 \leq 1;$$

$$x_2 \leq 1; \quad \text{olmak koşuluyla başlangıç durum matrisinin uzun dönem olasılığı}$$

$$\Pi_0 = 0.221$$

$$\Pi_1 = 0.779 \quad \text{olarak karşımıza çıkmaktadır.}$$

Arızalar arası geçiş olasılıkları matrisi incelendiğinde ise matris Şekil 5.5'te açıklandığı gibi olup belirtilen matrise ait uzun dönem çözüm denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$\min: -x_1 -x_2 -x_3 -x_4 -x_5 -x_6 -x_7 -x_8 -x_9 -x_{10} -x_{11};$$

$$\mathbf{R1:} -894.74 x_1 +129.03 x_2 +64.516 x_3 +47.619 x_4 +137.93 x_5 +166.67 x_6 +62.5 x_7 +35.714 x_9 = 0;$$

$$\mathbf{R2:} +157.895 x_1 -967.7419 x_2 +225.806 x_3 +190.476 x_4 +137.931 x_5 +125 x_6 +125 x_7 +50 x_8 +107.143 x_9 +200 x_{10} +142.857 x_{11} = 0;$$

$$\mathbf{R3:} +210.53 x_1 +96.774 x_2 -870.93 x_3 +137.93 x_5 +833.33301 x_6 +187.5 x_7 +350 x_8 +71.429 x_9 +133.33 x_{10} = 0;$$

$$\mathbf{R4:} +105.26 x_1 +129.03 x_2 +96.774 x_3 -1000 x_4 +34.483 x_5 +125 x_6 +125 x_7 +142.86 x_9 +133.33 x_{10} = 0;$$

$$\mathbf{R5:} +105.26 x_1 +96.774 x_2 +64.516 x_3 +190.48 x_4 -862.07 x_5 +125 x_6 +125 x_7 +200 x_8 +107.14 x_9 +66.6 x_{10} +142.86 x_{11} = 0;$$

$$\mathbf{R6:} +157.89 x_1 +129.03 x_2 +64.516 x_3 +190.48 x_4 +103.45 x_5 -1000 x_6 +62.5 x_7 +50 x_8 +142.86 x_9 +66.667 x_{10} +142.86 x_{11} = 0;$$

$$\mathbf{R7:} +96.774 x_2 +32.258x_3 +95.238x_4 +34.483x_5 +41.667x_6 -1000x_7 +50x_8 +142.86 x_9 +66.667 x_{10} +142.86 x_{11} = 0;$$

$$\mathbf{R8:} +105.26 x_1 +96.774 x_2 +96.77 x_3 +47.61 x_4 +34.48 x_5 +83.33 x_6 +187.5 x_7 -950 x_8 +107.14 x_9 +142.86 x_{11} = 0;$$

$$\mathbf{R9:} +52.632 x_1 +129.03 x_2 +96.774 x_3 +47.619 x_4 +206.9 x_5 +166.67 x_6 +62.5 x_7 +200 x_8 -1000 x_9 +200 x_{10} +142.86 x_{11} = 0;$$

$$\mathbf{R10:} +32.258 x_2 +129.03 x_3 +95.238 x_4 +34.483 x_5 +41.667 x_6 +62.5 x_7 +107.14 x_9 -933.3331 x_{10} +142.86 x_{11} = 0;$$

$$\mathbf{R11:} +32.258 x_2 +95.238 x_4 +41.667 x_6 +50 x_8 +35.714 x_9 +66.667 x_{10} -1000 x_{11} = 0;$$

$$\mathbf{R12:} +x_1 +x_2 +x_3 +x_4 +x_5 +x_6 +x_7 +x_8 +x_9 +x_{10} +x_{11} = 1;$$

$x_1 \leq 1; x_2 \leq 1; x_3 \leq 1; x_4 \leq 1; x_5 \leq 1; x_6 \leq 1; x_7 \leq 1; x_8 \leq 1; x_9 \leq 1; x_{10} \leq 1; x_{11} \leq 1;$ olmak koşulu ile arızalar arası geçiş olasılıkları uzun dönem olasılıkları;

$$\Pi_1 = 0.07262$$

$$\Pi_2 = 0.13851$$

$$\Pi_3 = 0.20019$$

$$\Pi_4 = 0.09120$$

$$\Pi_5 = 0.04246$$

$$\Pi_6 = 0.09683$$

$$\Pi_7 = 0.06293$$

$$\Pi_8 = 0.08646$$

$$\Pi_9 = 0.10966$$

$$\Pi_{10} = 0.06906$$

$$\Pi_{11} = 0.03003 \quad \text{olarak karşımıza çıkmaktadır.}$$

Daha sonra $\mu_{ij} = \frac{1}{a_j}$ diğerk bir deyişle $\mu_{ij} = \frac{1}{\prod_j}$ olduğuna göre her bir arıza için

beklenen tekrarlanma sayısı bulunur. Bunlar;

$\mu_1 = \frac{1}{\prod_1}$ ise $\mu_1 = \frac{1}{0.07262}$ olur ve sonuçta $\mu_1 = 13,7703$ olarak karşımıza çıkar.

Beklenen tekrarlanma sayılarını örnekleme uzayımız olan 52 aya yani 1560 güne oranlınırsa ortalama 3.27 yılda bir kez karşımıza çıkması beklenmektedir.

Aynı formüller kullanılarak bütün arızalar için beklenen tekrarlanma sayıları bulunduğunda sonuçlar aşağıdaki gibi olur;

Beklenen Tekrarlanma Sayısı	Yıllık Beklenen Tekrarlanma Sayısı
$\mu_1 = 13,770$	3,27 yıl/adet
$\mu_2 = 7,219$	1,71 yıl/adet
$\mu_3 = 4,990$	1,18 yıl/adet
$\mu_4 = 10,964$	2,60 yıl/adet
$\mu_5 = 23,551$	9.81 yıl/adet
$\mu_6 = 10,327$	2,45 yıl/adet
$\mu_7 = 15,890$	3,76 yıl/adet
$\mu_8 = 11,566$	2,73 yıl/adet
$\mu_9 = 9,119$	2,20 yıl/adet
$\mu_{10} = 14,480$	3,45 yıl/adet
$\mu_{11} = 33,300$	7,90 yıl/adet

Ek.4. Relest Programı Yardımıyla Yapılan Veri Analizi (Tehlike Fonksiyonu Analizi)

XX01 K/N Uçağa Ait Aylık Arıza Sayıları Verisi

AY	ARIZA SAYISI
1	6
2	4
3	4
4	6
5	5
6	6
7	3
.	.
.	.
.	.
42	5
43	5
44	5
45	5
46	5
47	5
48	6
49	4
50	5
51	4
52	7

Elde edilen bu veriler Arena paket programı yardımıyla analiz edildiğinde Weibull dağılıma aşağıdaki parametrelerle uyduğu görülmüştür.

Expression: 1.5 + WEIB(3.17, 2.54)

Square Error: 0.015245

Daha sonra RELEST programı yardımıyla aylık süreler zaman aralığında analize tabi tutulmuş ve dağılımın yakınsandığı model olarak Weibull seçilmiştir.

Weibull dağılımı θ ölçek parametresinden ve γ şekil parametresinden oluşmaktadır.

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\gamma-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^\gamma \right], \quad t \geq 0, \quad \gamma \geq 0, \quad \theta \geq 0,$$

Relest programı yardımıyla elde edilen veriler arasında dağılımın parametreleri de bulunmaktadır.

The screenshot shows the Relest program interface with the following details:

- Model Selection:**
 - Exponential
 - Weibull Exponential
 - Weibull
 - Lognormal
 - Gamma
- Parameters:**
 - Location Parameter: 0
 - Scale Parameter: 4.3024
 - Shape Parameter: 4.6868
- Calculated Values:**
 - $\hat{\lambda} = 0.23790$
 - $F_e(t) = 0.0087$
 - $h_e(t) = 0.00559$
 - Expected Lifetime: 4.02468
 - Standard Deviation: 1.12981

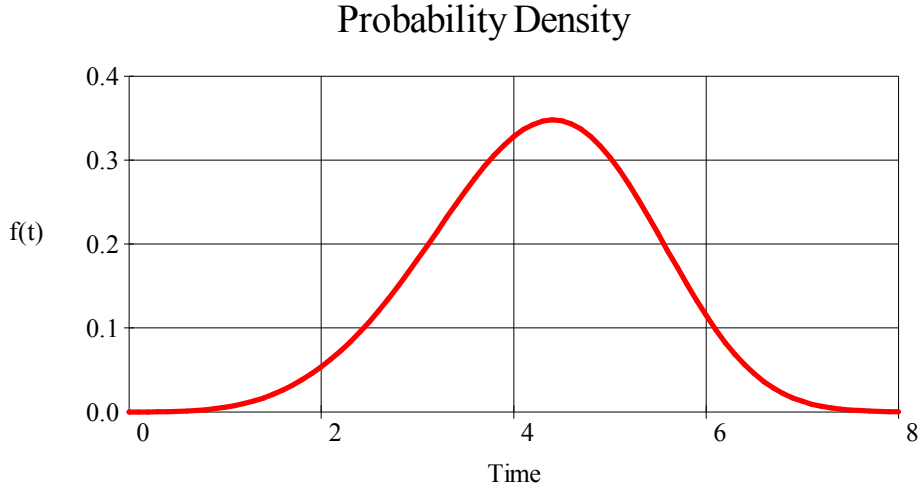
Relest programın yardımıyla $f_e(t)$, $h_e(t)$, $R_e(t)$, ve $F_e(t)$ 'yi aşağıdaki eşitlikleri kullanarak hesaplanmıştır.

$$f_e(t) = \frac{f(t)}{n_i \Delta t}, \quad h_e(t) = \frac{R_i(t)}{n_i(t) \Delta t}, \quad R_e(t) = \frac{f_e(t)}{h_e(t)} \quad \text{ve}$$

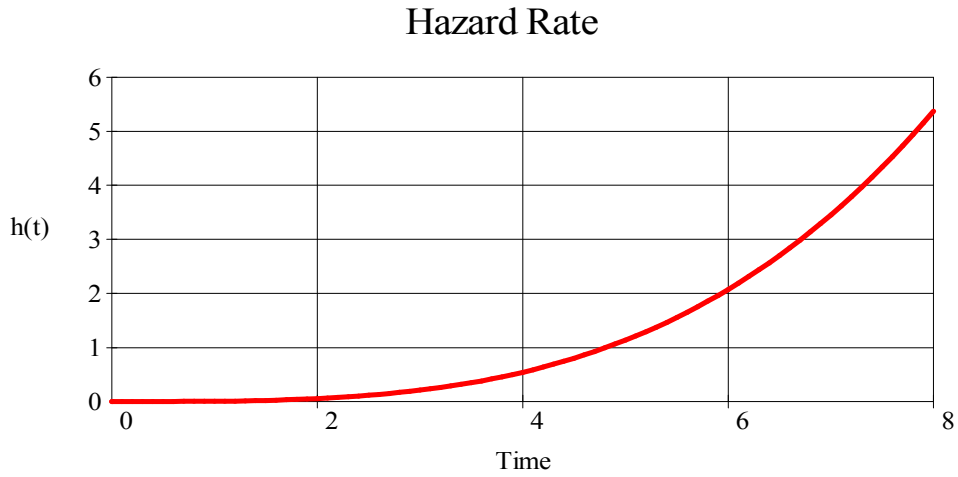
$F_e(t) = 1 - R_e(t)$. sonuçlar incelendiğinde ortaya çıkan verilerin grafiksel gösterimi EK-5'teki gibidir.

Ek.5. Relest Programı Yardımıyla Yapılan Tehlike Fonksiyonu Analizi Grafikleri

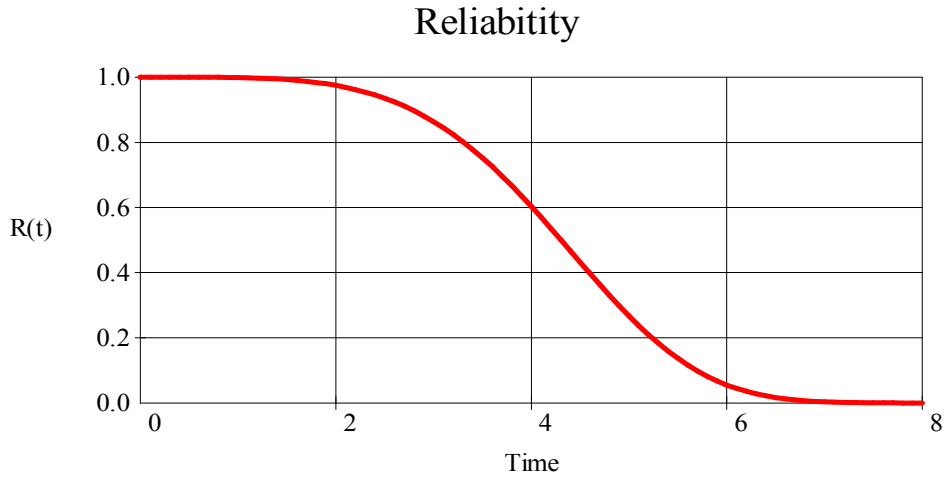
- Verilerin olasılık yoğunluk grafiği aşağıdaki gibidir;



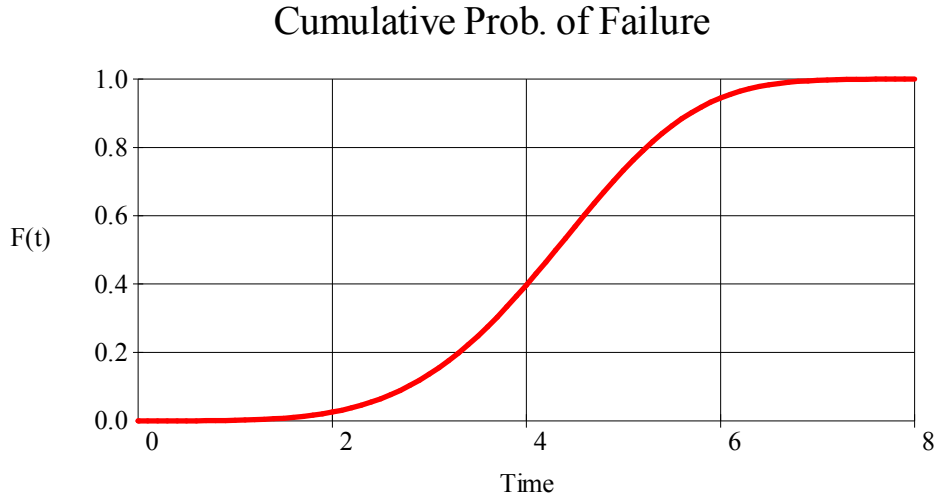
- Verilerin tehlike oranı grafiği aşağıdaki gibidir;



- Verilerin zaman içerisindeki güvenilirliği aşağıdaki gibidir;



- Verilerin birikimli arıza olasılığı grafiği aşağıdaki gibidir;



Bütün bu veriler ışığında XX01 kuyruk numaralı uçağın R sisteminin zaman içindeki güvenilirliğini aşağıdaki tabloda görülmektedir.

GÜVENİRLİK		SÜRE (AY)
%	99	10,45785
%	95	15,274675
%	90	18,05648
%	75	22,804795
%	50	27,97652
%	25	32,867055
%	10	36,981035
%	5	39,31356
%	1	43,445675

Bu tabloya göre uçağımızın R sistemi %90 oranda güvenilirlikle 18 ay , %50 oranda güvenilirlikle 27 ay kullanılabilir.

Zaman hesaplamaları, grafiklerde görülen zaman dilimi, örnekleme uzayı olan 52 aya oranlanarak yapılmıştır

Halihazırda elde edilen çıktıların hiçbir tanesinde herhangi bir düzeltici işlem yapılmamıştır.