

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜTÜNLEŞİK KORUYUCU VE TAHMİN EDİCİ BAKIM SİSTEMLERİ İÇİN
KULLANILABİLİR MODELLER

SEMRA ATTEPE

ŞUBAT 2009

ÖZET

BÜTÜNLEŞİK KORUYUCU VE TAHMİN EDİCİ BAKIM SİSTEMLERİ İÇİN KULLANILABİLİR MODELLER

ATTEPE, Semra

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa Yüzükırmızı

Şubat 2009, 80 sayfa

Bu tez çalışmasında, bakım kavramı, bakımın gelişimi, Türkiye’de bakım düşüncesi, bakımda güvenilirliğin önemi irdelenmiştir. Bakım faaliyetlerinin optimum şekilde yürütülmesi amacı ile bakım planı ve bütünlük bakım sistemi geliştirmek için izlenecek yol haritası önerilmiştir. Önerilen yöntem çalışmada adım adım açıklanmıştır. Bahsi geçen adımlar bakım çalışmalarına gerek duyan tüm işletmelerde kolaylıkla uygulanabilir.

Çalışma ile Bakım Onarım Takip Bilgi Sistemi temel bir model olarak geliştirmiştir. Böylelikle bakımların ve arızaların kayıt altına alınması, maliyetlerin izlenmesi, işletme faaliyetlerinin bütünlük şekilde yönetilmesi ve bu sayede makinelerin ömrünü ve verimliliğini artırmak, bakım masraflarını, zaman kaybını en aza indirmek ve bakım kararlarına hız ve kolaylık sağlamak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bakım, Güvenilirlik, Bakım Bilgi Sistemi

ABSTRACT

PRACTICAL MODELS FOR INTEGRATED PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEMS

ATTEPE, Semra

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa Yüzükırmızı

February 2009, 80 pages

In this study, the concept of maintenance, development of maintenance, reliability in maintenance and maintenance in Turkey, are researched. With the aim to continue maintenance activity optimally, a map is suggested for maintenance planning and integrated maintenance system. The suggested method is explained with steps. The steps can be used by all firms which need maintenance activity.

Furthermore, a Maintenance Information System is developed. In this program, maintenances system records, failures of machines and tools, costs, and other administrative activities are monitored in a integrated fashion. Consequently, improving machine lifetime, increasing effective utilization, reducing the maintenance cost and time, easiness and quickness for maintenance decisions are aimed.

Key Words: Maintenance, Reliability, Maintenance Information System

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında yardımını esirgemeyen, tez danışmanı hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa YÜZÜKIRMIZI' ya, jüri üyesi hocam Sayın Doç. Dr. Burak BİRGÖREN' e, jüri üyesi hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Süleyman ERSÖZ' e, hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kürşat TÜRKER' e, bugünlere gelmemde katkısı olan tüm hocalarıma ve büyüklerime, büyük sabır ve fedakârlıkla bana destek olan anneme ve kardeşime teşekkür ederim.

SİMGELER DİZİNİ

MTBF	Arızalar Arası Ortalama Süre
$\lambda(t)$	Arıza Hızı Fonksiyonu
MTTF	Arızaya Kadar Geçen Ortalama Süre
R(t)	Güvenilirlik Fonksiyonu
f(t)	Hata Yoğunluk Fonksiyonu
F(t)	Hata Dağılım Fonksiyonu
A	Kullanılabilirlik
MTTR	Onarıma Kadar Geçen Ortalama Süre

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

1.1 Bakımda Yazılım Kullanımı.....	9
1.2 Kullanılan Bakım Teknikleri.....	10
1.3 Bakım Tekniklerinin Değişimi.....	18
1.4 Düzeltici ve Önleyici Bakım Maliyetleri Arasındaki İlişki.....	19
2.1 (a) Misyon Sahibi Birim (b) Sürekli Çalışan Birim.....	26
2.2 Toplam Maliyet ve Güvenilirlik.....	27
2.3 Arıza Hızının Zamanla Değişimi.....	31
2.4 Bakım Planlamasının Adımları.....	34
2.5 Panel Kesme Makinesi Duruş Süresi Grafiği.....	38
2.6 Küçük Kenar Bantlama Makinesi Duruş Süresi Grafiği.....	39
2.7 Kutu Pres Makinesi Duruş Süresi Grafiği.....	40
2.8 Panel Kesme MTTR Beta Dağılımı: $6 + 296 * BETA(0.0361, 0.296)$	43
2.9 Panel Kesme MTTF Gamma Dağılımı: $11 + GAMM(9.39e+003, 0.36)$	43
2.10 Küçük Kenar Bantlama MMTR Üstel Dağılımı: $6 + EXPO(55.3)$	44
2.11 Küçük Kenar Bantlama MTTF Weibull Dağılımı: $414 + WEIB(2.22e+003, 0.515)$	44
2.12 Kutu Pres MTTR Beta Dağılımı: $12.5 + 21 * BETA(0.416, 0.459)$	45
2.13 Kutu Pres MTTF Weibull Dağılımı: $2.39e+003 + WEIB(3.37e+003, 0.225)$	45
2.14 Panel Kesme Makinesi İçin Güvenilirlik Grafiği.....	48
2.15 Küçük Kenar Bantlama Makinesi İçin Güvenilirlik Grafiği.....	50
2.16 Bütünleşik Bakım Planlama ve Kontrol Sistemleri.....	53

2.17 Kaba İlişki (Context) Diyagramı.....	54
2.18 0 Seviye (Overview) Diyagramı.....	54
2.19 Kurumsal Kaynak Planlama Sistemi Arayüzü.....	59
2.20 Bakım Onarım Takip Bilgi Sistemi Arayüzü.....	60
2.21 İş Emri Raporu.....	60
2.22 Maliyet Raporu.....	61
2.23 Bakım Çalışma Planı Raporu.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

1.1 Toplam Verimli Bakım Uygulamasının 12 Adımı.....	5
1.2 Detaylandırılmış Bakım İş Yüğü Sınıflandırması.....	21
2.1 Arıza Hızının Dönemlere Göre Nedenleri.....	32
2.2 Panel Kesme Makinesi Duruş Süreleri.....	37
2.3 Küçük kenar Bantlama Makinesi Duruş Süreleri.....	38
2.4 Kutu Pres Makinesi Duruş Süreleri.....	39
2.5 MTTR Sonuçları ve MTTF Sonuçları.....	42
2.6 Panel Kesme Makinesi İçin Güvenilirlik Fonksiyonları.....	47
2.7 Küçük Kenar Bantlama Makinesi İçin Güvenilirlik Fonksiyonları.....	49
2.8 Makine Dosyası.....	56
2.9 Personel Dosyası.....	57
2.10 Yedek Parça Dosyası.....	58

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Toplam Verimli Bakım Yaklaşımı.....	2
1.2. Bakım Kavramların Gelişimi.....	6
1.3. Türkiye’de Bakım.....	7
1.4. Literatür Araştırması.....	12
1.5. Çalışmanın Kapsamı ve Amacı.....	22
2. YÖNTEM.....	23
2.1. Bakımda Güvenilirliğin Önemi.....	23
2.1.1. Güvenilirlik ve Güvenilirlik Analizi Kavramları.....	24
2.1.2. Genel Güvenilirlik Analizi Fonksiyonları.....	28
2.1.3. Arıza Hızının Zamanla Değişimi.....	31
2.2. Bakım Planlamasının Adımları.....	33
2.2.1. Güvenilirlik Tabanlı Bakım Planının Geliştirilmesi.....	35
2.2.2. Hata Türleri ve Etkileri Analizi.....	40
2.2.3. Olasılık ve Sonuçları İle Kritiklik Sıralaması	50

2.2.4.	Kritiklik Sınıflandırmasına Bağlı Olarak Maliyet Tabanlı Bakım Görevleri Seçimi.....	51
2.2.5.	Görevlerin Kurgulanması ve Entegrasyon.....	51
2.2.6.	Sürekli İzleme ve Sürekli İyileştirme.....	62
3.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	63
4.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	65
	KAYNAKLAR.....	69

1. GİRİŞ

Rekabetin hızla tırmandığı ve yeniliklerin sürekli çoğaldığı günümüz koşullarında, ayakta kalabilmek isteyen firmaların kendilerini bu gelişmelerden soyutlamaları mümkün gözükmemektedir. Şirketler, yeni teknolojileri ve sistemleri takip etmek ve kuruluşlarına kazandırmak zorundadırlar. Diğer taraftan yarışı ancak maliyetleri en az seviyede tutan işletmeler başarıyla geçecektir. Maliyetlerin düşürülmesi noktasında ise göz ardı edilmemesi gereken nokta, üretim maliyetlerin içerisinde önemli bir yer tutan bakım maliyetlerini azaltmaktır.

Müşteri memnuniyetini artırmak isteyen işletmeler, müşterinin istediği kalitedeki ürününü istenilen zamanda, istenilen miktarda ve en az maliyetle üretmek durumundadır. Bunu başarmak için izlenilecek yol, hatasız ve israfsız olmalıdır. Oluşabilecek kusurlu ürünlerin yerine konulmak için üretilmiş ara stoklar veya son ürün stokları kuruluşlardaki envanter maliyetlerini dolayısıyla toplam maliyetleri artırmaktadır. Oysa tek seferde doğruyu yapmaya odaklanmış bir üretim sistemi bu israflara katlanmak zorunda olmayacaktır. Bununla birlikte firmalarında stok bulundurmamakla beraber hatalı duruşları engellemeyen ve arıza olduğunda bakım yapan şirketler, bu duruşlardan kaynaklanan beklemelelere, arızalardan doğan yüksek bakım masraflarına, sistemin durmasıyla oluşan fazladan işçilik, elde bulundurmama maliyeti gibi bedellere katlanmak durumunda kalacaklardır. Öte yandan özellikle yöneticiler tarafından, periyodik olarak yapılan bakım aktivitelerinin de işletme için kayıp olabileceği düşünülmektedir. Bu noktada arızaların tahmin edilmesi ve bakım faaliyetlerinin planlanması konusu öne çıkmaktadır. Sorunun çözümü ise titizlikle hazırlanmış, bakım yapmakla yapmamak noktasındaki maliyet-yarar dengesini

sağlayan ve işletmenin diğer birimleri ile uyumlu bütünleşik bakım sisteminin kurulması ile mümkün olabilir.

Toplam Kalite Yönetimi, felsefesi gereği, yapılan işi ilk seferde doğru yapmayı ve sürekli gelişmeyi tüm örgüte yaymayı amaçlar. Bu doğrultuda ilk seferde doğruyu yakalamak, etkili ve tüm sistem elemanlarınca benimsenmiş bir bakım yönetim sistemiyle mümkündür.

Pazarda rekabetçi yerini sürdürmek için gelişmiş üretim şirketleri, bakım maliyetlerini en az seviyede kontrol edebilen ve toplam ekipman verimliliğini en yüksek seviyede tutabilen kusursuz bakım yönetim sistemine sahip olmak zorundadırlar⁽¹⁾.

1.1. Toplam Verimli Bakım Yaklaşımı

Toplam verimli bakım; işletme içerisindeki ekipmanın en uygun şekilde çalışmasını sağlamak, olası hatalarının önüne geçmek ve ekipmanın ömrünü uzatmak için gerçekleştirilen çalışmaların birleşimidir. Hataları engellemek amacıyla yapılan bu çalışmalar, kayıpların en az seviyeye indirilmesini ve dolayısıyla verimliliğin üst seviyeye çıkarmasını amaçlar.

Toplam verimli bakım, işletmenin tüm çalışanlarını sisteme dahil etmeyi gerekli gören bir yönetim anlayışıdır⁽²⁾. Dolayısıyla toplam verimli bakım kavramı işletmenin tamamını ilgilendirir ve amaçlananlar doğrultusunda çalışmaların tüm personel tarafından benimsenmesini ve uygulanmasını gerektirmektedir.

Toplam verimli bakım, ilk olarak 1969'da, Toyota grubunun bir firması olan dünyanın en büyük otomobil elektrik aksamı üreticilerinden Japon Nippondenso

şirketi tarafından geliştirilmiştir. Aslında daha önce, A.B.D.'de üretken bakım kavramı ve uygulaması olmasına rağmen Nippondenso bu terime “total” yani “toplam” sözcüğünü ekleyerek toplam verimli bakımı bugünkü konumuna getirmiştir. Toplam verimli bakımdaki “toplam” kelimesi ise şu üç anlamı ifade eder:

Toplam Etkinlik: Toplam verimli bakımın ekonomik etkinliği ve karlılığı sağladığını ifade eder.

Toplam Bakım Sistemi: Toplam verimli bakımın önleyici bakımı, bakım geliştirilebilirliğini ve koruyucu bakımı içerdiğini ifade eder.

Toplam Katılım: Özellikle operatörlerin otonom bakım faaliyetleri ile önem kazanan küçük grup aktiviteleriyle tüm çalışanların katılımı hedeflenmiştir. Operatörlere sorumluluk vererek takım çalışmasını gerçekleştirmek esastır⁽³⁾.

Ekipman performansını değiştirmek isteyen firmalarda tüm çalışanlar çalışma alışkanlıklarını ve kafa yapılarını değiştirmelidirler. Sorunları iyileştirmede ayrı çalışmak yerine birlikte çözmeyi öğrenmek durumundadırlar. Toplam verimli bakımın her adımında yeni bir zihniyet oluşturmalıdırlar. İdeal fabrika durumuna ulaşmak gayesi ile beraber rakiplerden geri kalmamak odak noktası olmalıdır⁽⁴⁾.

Toplam verimli bakım, sermaye artırımını için ihtiyacı azaltmasından dolayı mevcut ekipman verimliliğini artırmayı amaçlayan bir metodolojidir⁽⁵⁾.

Darboğaz olan en az üretim kapasitesine sahip olan makinelerin iyileştirilmesi toplam fabrika kapasitesinin iyileştirilmesini sağlar. Bunun yanı sıra, darboğaz oluşturmeyen makinelerin de performansının iyileştirilmesi önemlidir. Çünkü bu makinelerde darboğazı besler. Bu sırada yaşanan kayıp artık sonsuza kadar kayıptır. Çünkü darboğaz kayıp üretim zamanını fazla mesai olmadan telafi edemez. Üstelik

makineler eğer 7 gün 24 saat sürekli çalışma durumunda ise bu kaybı kurtarmanın yolu yoktur⁽⁴⁾.

Toplam verimli bakımın uygulamaları literatürde temelde üç ana aşamada özetlenmiştir. Hazırlık, uygulama ve süreklilik şeklinde açıklanan bu üç aşama on iki adım şeklinde alt basamaklara ayrılmıştır. Çizelge 1.1' de bu on iki adım gösterilmiştir⁽³⁾.

Toplam verimli bakım, Japonya'da JIPM denilen Japon Fabrika Bakım Enstitüsü'nün desteklediği bir sistemdir. Enstitü Toplam verimli bakımı başarı ile uygulayan şirketleri ödüllendirmektedir. Toplam verimli bakım uygulanması ile ödül kazanmış iki yüz şirketin aldığı ve JIPM tarafından yayınlanan sonuçlara göre;

- Üretim verimliliğinde artış 1,5 kat
- Arızalarda azalma 1/100–1/150
- Iskartalarda azalma % 90
- İş kazalarında azalma %100
- Bakım maliyetlerinde azalma %30
- Şikâyetlerde azalma %75–%100
- Stok seviyelerinde düşüş %50
- Çevre kirliliğinin azalması %100
- Çalışanların önerilerindeki artış 10 kat olmuştur⁽⁶⁾.

Toplam verimli bakımın uygulanmaya geçilmesinde çeşitli tepkiler görülebilir. Ancak bu çalışmalar hem çalışanlar hem de ekipman için kazançtır. Ancak bu yüksek seviyedeki insan performansı ile başarılabilir. Yükselen insan bilgisi ve yeteneği toplam verimli bakım aktivitelerinin başarılması ve fabrika verimliliğinin iyileştirilmesinde anahtar rol oynayacaktır⁽⁴⁾.

Çizelge 1.1 Toplam Verimli Bakım Uygulamasının 12 Adımı

Aşamalar	Adımlar	Detaylar
HAZIRLIK	1.Üst yönetim tarafından işletmede Toplam verimli bakım uygulanacağıının ilanı	İşletme yöneticileri öncü olarak, konuyu ve önemini duyururlar. Çalışanlar genel olarak bilgilendirilir ve uygulamanın faydası açıklanır.
	2.Toplam verimli bakım konusunda tanıtım ve eğitim faaliyetlerinin başlatılması	Toplam verimli bakımın içeriği ve uygulanabilirliği konusunda seviyesine göre çalışanlara eğitimler verilir. Çalışanlar motive edilmeye çalışılır.
	3.Organizasyonel yapının oluşturulması	Toplam verimli bakım uygulamalarının sürekliliğini sağlamak için bir organizasyon kurulması, çalışma kurallarını belirleyerek işlerlik kazandırılması safhasıdır.
	4.Toplam verimli bakım konusunda temel politika ve hedeflerin belirlenmesi	Var olan koşulların analiz edilmesi, temel politika ve hedeflerin belirlenmesi adımıdır.
	5.Toplam verimli bakım için ana planın hazırlanması	Detaylı uygulama planı hazırlanır.
UYGULAMA	6.Toplam verimli bakım başlama vuruşu yapılması	Planın hazırlanmasından sonra tüm çalışanların katılacağı bir organizasyonla uygulamalar başlatılır. Bu aşamadan sonra her çalışan kritik önemdedir.
	7.Ekipman yönetim sisteminin kurulması	Sürekli iyileştirme takımlarının çalışmaları ile kayıpları önleyecek faaliyetlere odaklanılır.
	8.Otonom bakım sistemi kurulması	Arızalar için önlem alınması, üretim araçlarının periyodik bakımının bir bölümünün makine başında çalışan operatörler tarafından yapılmasıdır.
	9.Planlı bakımın geliştirilmesi	Üretim araçlarının gruplandırılması, üretim araçlarına ait dosyaların oluşturulması, alt grupların ayrılması, eylemlerin tanımlanması, uygulamanın takibi ve kontrolünü içerir.
	10.Önleyici mühendislik faaliyetlerinin yerine getirilmesi	Elde edilen sonuçların yeni ekipmanlara aktarılması ve ömür çevrim maliyet analizi yapılmasıdır.

Çizelge 1.1 (devam)

UYGULAMA	11. Operasyon ve bakım yetenekleri geliştirilmesi için eğitim	Tüm düzeylerdeki çalışanların eğitimlerinin süreklilik kazanmasıdır.
SÜREKLİLİK	12. Toplam verimli bakım sisteminin korunması ve yeni hedeflerin belirlenmesi	Değerlendirme yapılması, hedeflerin güncellenmesi, PM ödülüne başvuru gibi aşamaları içerir.

Ö. Ö. Arı, v.d.⁽⁷⁾, toplam verimli bakım felsefesinin; daha üstün kalite, daha düşük maliyet, zamanında teslimat, iş güvenliği, daha iyi çalışma ortamı, daha yüksek moral ve gelecek güvencesi sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca toplam verimli bakımın temel hedeflerini; verimliliğin artırılması, ürün kalitesinin artırılması, sıfır hata, sıfır kayıp, sıfır ıskarta, sıfır stok, sıfır iş kazası, sıfır arıza, bakım kalitesinin artırılması, ufak grup çalışmalarının artırılması, iyileştirme önerilerinin artırılması, şirket kültür değişiminin sağlanması ve teknik eğitimin artırılması olarak açıklamışlardır.

1.2. Bakım Kavramların Gelişimi

1950'den önce arıza olduğu zaman bakım yapmayı öngören anlayış hâkimdi. Ancak bu anlayış, arızanın beklenmedik bir zamanda meydana gelmesi ile tüm üretim sistemini durma noktasına getirmekteydi. 1950'den sonra ise belirli zamanlarda arızanın oluşmasını beklemeden, bakım ve gerekli işlemlerin yapılması düşüncesi ile koruyucu bakım uygulanmaya başlandı. Koruyucu bakım, bir ölçüde arızalardan kaynaklanan sorunların azalmasını sağlasa da tam olarak bir çözüm

noktası olamamıştır. 1960 yılından sonra ise verimli yani üretken bakım kavramı ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımda üretimin sürekliliği ve verimliliği temel alınarak bakım çalışmalarının düzenlenmesi ve planlanması düşüncesi egemendir. Bu görüş üretimin durmasının önlenmesinin yanında verimliliği de artırmayı hedef alır. Daha sonraki zamanlarda bu yaklaşıma koruyucu bakım kavramının da dahil olması ve işletmenin tamamının sürece katılımının sağlanması ile “Toplam Verimli Bakım” olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1980’li yıllardan sonra ise koruyucu ve önleyici bakım politikalarının yanı sıra tahmin edebilen ve güvenilirlik merkezli bakım çalışmaları ortaya çıkmıştır.

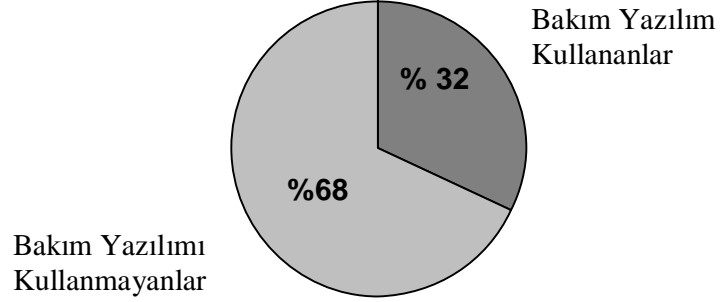
1.3. Türkiye’de Bakım

Türkiye’deki bakım faaliyetleri ve uygulamaları yakın zamanda M. Mete, E. Manisalı⁽⁸⁾ tarafından analiz edilmiştir. Bu bölümde bahsi geçen çalışma incelenmiş ve yorumlanmıştır. Çalışmada anket yöntemi kullanılmış ve anketler cevaplandırılmak üzere 512 firmaya gönderilmiştir. Bahsi geçen çalışmanın bazı çarpıcı sonuçları şu şekilde sıralanabilir:

- Firmalarında bakım çalışmalarına gereken önem verildiğini düşünenlerin oranı %78 olmaktadır.
- Ankete katılanların %72’si bakım faaliyetlerine yönetim tarafından yeterli kaynağın ayrıldığını düşünmektedir.
- Bakım faaliyetlerinin maliyet kaynağı olarak bakılması konusunda %45’lik bir grup yönetimin bakımı bir maliyet olarak gördüğünü, %35’lik bir grup maliyet olarak görülmediğini, %18’lik bir grup ise bu konuda kararsız olduğunu ifade etmiştir.

- Firmalarında koruyucu bakıma gereken önemin verildiğini belirtmelerine rağmen, firmalarında genel olarak düzeltici bakım faaliyetlerinin yapıldığını ifade edenler %83'lük kısım dır.
- Ankete katılanların %81'i firmalarında bakım faaliyetlerinin organizasyondaki yerinin tanımlı olduğunu belirtmişlerdir.
- Ankete katılanların %82'si firmalarında bakım faaliyetlerinin önceden planlanmakta olduğunu belirtmişlerdir. Firmalarında yıllık bakım planı yapılmakta olduğunu belirtenlerin oranı %74, bakım faaliyetleriyle ilgili olarak malzeme ihtiyaç planı yapılmakta olduğunu belirtenlerin oranı ise %67'dir.
- Ankete katılanların %72'si bakım personelinin niteliklerinin yeterli olduğunu belirtmiştir.
- Ankete katılanların %73'ü bakım faaliyetlerinin kurumun performansını olumlu olarak etkilediğini düşünmektedir. Firmalarında bakım sürecinin performans kriterinin belli olduğu söyleyenlerin oranı %54'dür. Firmalarımızda uygulanan bakım sisteminin etkin olduğunu düşünenlerin oranı %68'dir.
- Ankete katılanların %48'i bakım verilerinin analiz edilerek anlamlı ve düzenli raporlar çıkarıldığını düşünmektedir. %53'lük kısım ise firmalarında bakım verileri kullanarak istatistiksel analiz yapılmakta olduğunu belirtmiştir. Firmaların %60'ı bakım verilerini kullanarak kendi bakım sistemlerini sürekli iyileştirmektedir.
- Ankete göre işletmelerde üretim planı yapılırken bakım faaliyetlerinin de dikkate alındığını belirtenlerin oranı %57 iken dikkate alınmadığını belirtenlerin oranı ise %20 olarak gerçekleşmiştir.

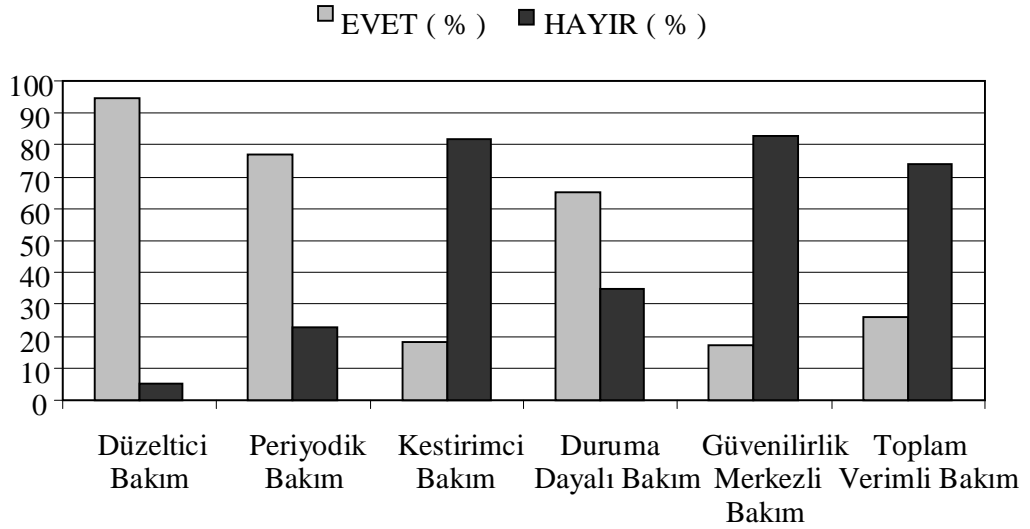
- Bakımda yazılım kullanım oranı aşağıdaki Şekil 1.1’de görüldüğü gibi % 32 dir.



Şekil 1.1 Bakımda Yazılım Kullanımı

- Bakımda yazılım kullananların % 66,7 si kamu kuruluşlarına aittir.
- Personel sayısı 250 kişiden az olan işletmelerde yazılım kullanılmamaktadır. 250 ile 500 arasında kişi çalıştıran işletmelerde yazılım kullanım oranı % 50 seviyesindedir.
- Yazılım kullananların % 81,3 ü paket yazılımları tercih etmektedir.
- “Kullanılan bakım yazılımı kurumun ihtiyaçları dikkate alınarak sürekli güncellenmektedir” kriterine genel katılım düzeyi %50,1 seviyesindedir.
- “Kullanılan bakım yazılımı karar desteği sağlamaktadır.” kriterine genel katılım düzeyi %54,3 seviyesindedir.
- “Kullanılan bakım yazılımı esnek” kriterine genel katılım düzeyi %50,1 seviyesindedir.

- “Kullanılan bakım yazılımından istenen raporlar hızlı bir şekilde alınabilmektedir.” kriterine genel katılım düzeyi %43,8 seviyesindedir.
- Kullanılan bakım tekniklerinden
 - Düzeltici bakım tekniği için % 95 i evet, % 5 i hayır;
 - Periyodik bakım tekniği için % 77 i evet, % 23 ü hayır;
 - Kestirimci bakım tekniği için % 18 i evet, % 82 si ise hayır;
 - Duruma dayalı bakım tekniği için % 65 i evet, % 35 i hayır;
 - Güvenilirlik merkezli bakım tekniği için % 17 si evet, % 83 ü hayır;
 - Toplam verimli bakım tekniği için % 26 sı evet, % 74 ü hayır demiştir.



Şekil 1.2 Kullanılan Bakım Teknikleri

Bu sonuçlara göre şu yorumları yapmak mümkündür:

- Ülkemizde işletmelerce bakım çalışmalarına gereken önem verildiği düşünülmekte birlikte genellikle önceden planlama yapıldığı ancak

- düzeltilici bakım faaliyetlerinin yaygın olduğunu ortaya çıkmıştır.
- Bakım faaliyetlerinin genel olarak bir maliyet oluşturacağı düşüncesi baskın olmakla birlikte bu konuda kararsız olanların oranı da ihmal edilemeyecek kadar fazladır. Bu durum bize bakım çalışmalarının yeteri kadar irdelenmediği ve ne gibi sonuçlar doğuracağını bilinmediğini göstermektedir. Buna rağmen önemli bir kısım da bakım çalışmaları için yeterli kaynağın sağlandığını düşünmektedir.
 - Bakım faaliyetleri işletmeler tarafından gerekli ve performans artırıcı bir unsur olarak görülmesine rağmen nasıl ve ne kadar etkilediği tam olarak tespit edilememektedir.
 - Bakım verilerinin kullanılması, istatistik analiz yapılması ve anlamlı bilgiler elde edilmesi noktasında ülkemizdeki katılım oranı bakım çalışmalarının ne kadar az değerlendirildiğini göstermektedir. Ne var ki bakımın kurum performansını artıracağına inanç fazla olmasına rağmen, kriterlerin belirlenmesi ve sayısal değerlendirmelerin yapılması noktasında eksik kalındığı gözden kaçırılmamalıdır.
 - Üretim planı yapılırken bakım faaliyetlerinin de dikkate alındığını belirtenlerin oranı ülkemizde bakımın işletmeler tarafından bütünsel bir anlayışla ele alınmadığını ortaya koymaktadır.
 - Ülkemizde bakım yazılımı kullanım oranı oldukça düşüktür. Bakım faaliyetlerinin düzenli ve etkili sürdürülebilmesi için gerekli olan verilerin (arıza, tamir, maliyet, personel, eğitim vb.) elde edilmesini kolaylaştıracak yazılımlar firmaların büyük çoğunluğu tarafından kullanılmamaktadır. Dolayısıyla bakım çalışmalarının izlenmesi ve değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır.

- Bakım yazılımı kullananların büyük çoğunluğunu kamu kuruluşlarının kullanıyor olması özel sektörde bu konuya yeterli önemin gösterilmediğini ortaya koymaktadır.
- Kullanılan yazılımlarla ilgili sorulara verilen cevaplar, çoğunlukla kullanılan paket yazılımların yeteri kadar gelişmediği ve firmalara uyumu noktasında eksik kaldığını göstermektedir.
- Firmalar bakım çalışmalarında düzeltici bakım ve periyodik bakım tekniklerini ağırlıklı olarak tercih etmektedir. Bu tekniklerin tercihindeki yoğunluk şunu göstermektedir ki, firmalar bakım faaliyetleriyle ilgili alışkanlıklarından kurtulamamakta ve geleneksel tekniklerin kullanımına devam etmektedirler.
- Sonuç olarak söylenebilir ki, ülkemizde bakımla ilgili olarak bir bilinçlenme mevcut fakat bakım faaliyetlerine gösterilen önem henüz istenilen seviyeye ulaşmamıştır.

1.4. Literatür Araştırması

Literatürde bakım yönetimi ve makine güvenilirliği hakkında birçok makale ve araştırma raporu mevcuttur. Bu literatür özetinde çalışmalar optimizasyon modelleri, bakım teknikleri ve bilişim sistemleri açısından incelenmiştir. Mevcut bakım yönetim uygulamalarının gözden geçirilmesinden sonra bakım karar destek ve yönetiminde bilgisayar teknolojisi ve çeşitli yapay zeka teknolojilerinin uygulamalarında kapsamlı bir çalışmanın getirildiği görülmesine karşın çok az çalışma bakım yönetim sistemleriyle bütünleştirilmenin nasıl yapılacağı konusuna değinmiştir.

Bakım yönetiminde kıyaslama (benchmark) çalışmalarından biri T. Wireman⁽⁹⁾ tarafından Amerika Birleşik Devletlerinde yapılmıştır. Bu anket çalışmasının sonuçlarına göre sanayi firmalarında bakım masrafları her yıl %10-15 artmaktadır.

P. Tse ve D. Atherton⁽¹⁰⁾ modern fabrikaların 3 ana problemle karşı karşıya olduklarını bulmuşlardır. Bunlar:

- Karmaşık işletme ortamları için bakım işlerinin nasıl önceden planlanması ve çizelgelenmesi gerektiği
- Yedek parçalar için yüksek stok maliyetlerinin nasıl düşürülmesi gerektiği
- Katastrofik arıza ve duruşların nasıl önlenmesi ve planlanmamış makinelerin sistem dışı kalmasının nasıl önüne geçilmesi gerektiği

Yukarıda belirtilen problemlerle baş etmek için modern mühendislik işletmeleri bakım yönetim kararlarında yardımcı olmak üzere bir takım matematiksel karar destek sistemleri geliştirmişlerdir. Bu araçlardan bazıları kullandıkları tekniklere göre şöyledir:

- Bilgi tabanlı sistemler⁽¹¹⁾.
- Analitik hiyerarşi süreci⁽¹²⁻¹³⁾.
- Petri nets⁽¹⁴⁾.
- Yapay sinir ağları⁽¹⁵⁾.
- Bulanık mantık ve bulanık şebeke⁽¹⁶⁾.
- Bayes teorisi⁽¹⁷⁾.

Bu matematiksel araçlar, analitik tekniklerin verdiği güçleri sisteme entegre ederek bakım karar destek sistemlerinin daha fazla bilgi odaklı, etkin ve verimli olmalarını sağlamışlardır.

Bazı araştırma sonuçları karar destek sistemlerinin bu konudaki önemine yer vermiştir. M. Rao v.d.⁽¹⁸⁾ ilk olarak hava trafik kontrolü için akıllı bakım destek sistemi olarak önermiştir. Çalışmalarında, hava trafik kontrolü için bakım destek işlemlerinin otomasyonunu kolaylaştırmak amacıyla mevcut teknoloji uygulamalarında birkaç bilim dalını bir arada kullanmışlardır. Akıllı bakım destek sistemi çatısı birkaç başlı başına uzman sistem ve sayısal yöntem programlarını içerir. X. Zhu⁽¹⁹⁾ mayın kamyonu için sensörlü durum izleme ile bütünleşik akıllı yönetim destek sistemi önermiştir. Bu sistemde bakım yönetimine destek sağlamak için sensor ölçümü, bilgi işleme, bilgiye dayalı akıllı sistemler ve yazılım uygulaması bütünleştirilmiştir. Öneri, bilgi ve sistem parçalarının sağlığı için erken uyarı kontrol ve sensor ölçümü uygunluğunu başından sonuna sağlamıştır. Y. L. Tu ve E. H. H. Yeung⁽²⁰⁾ bir tekstil şirketinde bakım yönetim sistemleri ve karar destek sistemleri arasındaki ilişkiyi kapsamlı olarak incelemişlerdir ve bakım yönetim sisteminin akıllı karar destek sistemi prototipini geliştirmek için Bayes olasılık şebekesini kullanmıştır. Bu akıllı karar destek sistemi prototipi içinde maliyet, kalite ve üretim verimliliği bakım faaliyetlerinde karar vermek için hesaba katılmıştır.

P. Tse ve K. W. Tam⁽²¹⁾ bakım yönetim yaklaşımında ekipman bozulma trendinin tahmini ve kayıtlı hata teşhislerinin çok önemli olduğunu savunmuştur. Durum izleme, akıllı kayıtlı hata teşhisi ve ekipman bozulma trendinin tahmini bakım yönetiminin çok yönlü karar destek sistemini sağlamak için bütünleştirilmiştir⁽²²⁾. Bir elektrik şirketinde R. C. M. Yam, v.d.⁽²³⁾ kontrol temelli bakım için akıllı tahmin edici karar destek sistemlerinin önceki modelini geliştirmiştir.

T. Cebesoy⁽²⁴⁾ çalışmasında bakım frekansları ve bakım maliyetlerinin dikkatli bir şekilde kestirilmeleri gerektiği üzerinde durmuştur, bakım frekans aralığı ve bakım maliyetlerinin tahmini bir sayısal uygulama ile açıklamıştır.

H. Watanabe⁽²⁵⁾ bakım personelinin atanması ve çalışmanın bölüştürülmesi yöntemi üzerine odaklanmıştır. Çalışmasındaki model, çeşitli bakım koşulları altında sistem güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılabilir.

L. J. Hollick ve G. N. Nelson⁽²⁶⁾ yaptıkları çalışmada güvenilirlik merkezli bakım tanımını; kaynakların minimum masrafla ekipman güvenilirliğini gerçekleştirmek için istenilen önleyici bakım görevlerini tanımlamak için kullanılan bir metodoloji olarak yapmışlardır.

N. Cotaina, v.d.⁽²⁷⁾ güvenilirlik merkezli bakımı incelemiş ve güvenilirlik merkezli bakımın farklı alanlardaki uygulamalarını analiz etmişlerdir.

H. A. Gabbar, v.d.⁽²⁸⁾ güvenilirlik merkezli bakım ve bilgisayar donanımlı bakım yönetim sistemini bütünleştirerek optimize edilmiş başarılı bir bakım planı oluşturmayı amaçlayan bir çalışma yapmıştır.

Y. Arı, R.Ünal⁽²⁹⁾ çalışmalarında, güvenilirlik merkezli bakım yöntemi yardımıyla elektrikli asansör bakımına sistematik bir yaklaşım getirilerek daha verimli ve etkin bir bakım planlaması modeli ortaya koymaya çalışılmışlardır.

İ. Karaoğlan, v.d.⁽³⁰⁾ yaptıkları çalışmada, tek ürünli, çok hatlı ve çok aşamalı bir tam zamanında üretim sisteminde düzeltici ve koruyucu bakım politikalarının, kanban sayısının ve makinelerin arızalar arası ortalama sürelerinin etkisini benzetim tekniği kullanılarak incelenmişlerdir. Çalışma sonucunda tam zamanında üretim

sistemi gibi sistemlerin verimliliğinin artırılmasında koruyucu bakım politikasının önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

G. Gençyılmaz⁽³¹⁾ “Koruyucu Bakım” konusunu tanımlayarak bakım planlaması ve uygulama tekniklerini anlatmıştır.

C. R. Cassady ve E. Kutanoğlu⁽³²⁾ yaptıkları çalışmada önleyici bakım planlamanın ve üretim çizelgelemenin birbirine bağlı ama ayrı ayrı yapılan aktiviteler olduğunu ve bakımın üretim zamanını etkilediğini belirtmişlerdir. Tek makine için yapılmış çizelgeleme ile önleyici bakım kararlarını birlikte ele alan birleşik bir model önermişlerdir. Üretim sistemlerinin verimliliğini ancak bütünleşik kararların sağlayabileceğini savunmuşlardır.

E. Gerede⁽³³⁾ hava araçlarının önleyici bakım programlarının bakım yönlendirme kılavuzları ile nasıl hazırlanması gerektiği konusu üzerinde durmuştur.

R. Dekker⁽³⁴⁾ çalışmasında bakım yönetimi ve bakım optimizasyon modeli üzerinde durmuştur. Bakım amaçlarını dört başlık altında özetlemiştir:

- Sistem işlevi garantisi (elverişlilik, etkinlik ve ürün kalitesi)
- Sistem hayatının garantisi (malzeme yönetimi)
- Güvenlik garantisi
- İnsan refahı garantisi

Bu amaçlardan üretim ekipmanı için sistem garantisinin en önemli bakım amacı olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bakım hakkında düşünülme tasarım aşamasından başlanması gerektiği ve sistem satın alınırken de bakım maliyetlerinin hesaba katılması zorunluluğuna değinmiştir. Çalışmasında bakım modellerinin

uygulanmasında başarılı olmak için neye ihtiyaç var ve ne engel teşkil eder konularına ağırlık vermiştir.

M. Mete ve E. Manisalı⁽³⁵⁾ bakım yönetiminin önemli bir konusu olan bakım stratejilerinin seçilmesinde bulanık çok amaçlı bir karar modeli geliştirilmiştir. Kullanılan yöntem bakım stratejilerinin seçilmesine sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

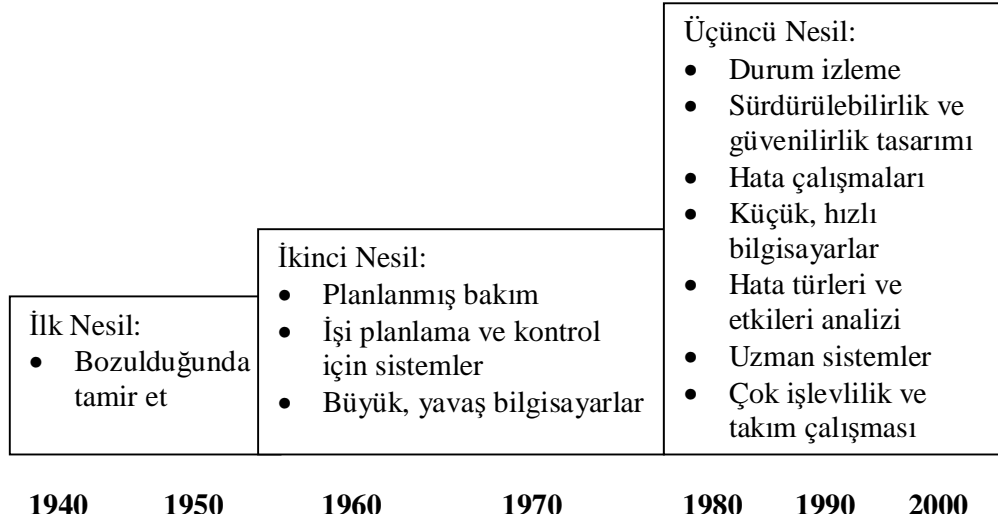
S. Çebi, v.d.⁽³⁶⁾ yaptıkları çalışmada bakım yöntemlerinin ortak amaçlarını şu şekilde sıralamışlardır:

- Üretim maliyetlerini düşürmek
- Ürün kalitesine katkıda bulunmak
- Tesis/donanım ömrünü arttırmak
- Üretimin sürekliliğini korumak

Ayrıca S. Çebi, v.d.⁽³⁶⁾ adı geçen çalışmada sistem gereksinimleri doğrultusunda entegre bakım-onarım yönetimi tasarımı için bir yöntem geliştirilmesi amacıyla bulanık ortamda Analitik Hiyerarşik Süreç ve Aksiyomlarla Tasarım yöntemleri üzerine kurulan melez yaklaşım ile gemi sistemlerinin gereksinimleri doğrultusunda uygun bakım-onarım yöntemlerinin saptanmasını hedeflemiştir. Önerilen model, gemi ana makine yakıt sistemi için uygulanmış ve bu sistem için entegre bakım-onarım yönetimi gereksinimi ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ana makine yakıt sistemi için periyodik bakım prosedürünün, önleyici ve kestirimci bakım yaklaşımları ile desteklenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Çalışmada geliştirilen modelin bakım onarım çalışmasının gerektirdiği her tür işletme ve sanayide kolayca uygulanabileceğini savunulmaktadır.

J. Moubray⁽³⁷⁾ kitabında bakım tekniklerinin değişimini Şekil 1.3’de olduğu gibi belirtmiş ve güvenilirlik tabanlı bakım için yedi temel soru belirlemiştir:

- Kaynakları kullanma durumunda, varlıkların birleşik performans standartları ve işlevleri nelerdir?
- İşlevleri yerine getirmek için hataları önleme yolları nelerdir?
- Fonksiyonel her hatanın nedeni nedir?
- Her hata oluştuğunda neler oluyor?
- Her hata hangi yönden önemlidir?
- Her hatayı önlemek ya da tahmin etmek için ne yapılabilir?
- Uygun önleyici görevler bulunamaz ise ne yapılmalıdır?

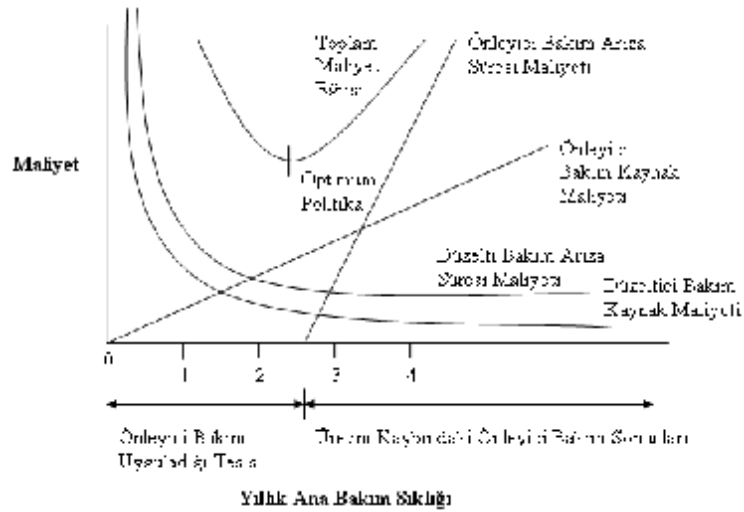


Şekil 1.3 Bakım Tekniklerinin Değişimi

Ayrıca J. Moubray⁽³⁷⁾ güvenilirlik tabanlı bakımın başarılarını; daha fazla emniyet ve çevresel bütünlük, geliştirilmiş çalışma performansı, daha fazla bakım

maliyet verimliliği, pahalı parçalar için daha uzun kullanışlı ömür, kapsamlı veri tabanı, artan bireysel motivasyon, daha iyi takım çalışması olarak sıralamıştır.

A. Kelly⁽³⁸⁾ yaptığı çalışmada düzeltici ve önleyici bakım maliyetleri arasındaki ilişkiyi Şekil 1.4'deki gibi özetlemiştir.



Şekil 1.4 Düzeltici ve Önleyici Bakım Maliyetleri Arasındaki İlişki

Başka bir çalışmasında A. Kelly⁽³⁹⁾ bakım iş yükünü üç ana kategoriye ayırmıştır:

İlk hat iş yükü: Acil işlerden oluşmuştur ve işler detaylı planlamaya ihtiyaç duymayan küçük işlerdir. Pazartesi cumaya kadar olan vardiyalara boyunca gerçekleştirilebilecek işlerdir.

İkinci hat iş yükü: Bu kısımda işler daha büyük önleyici işlerdir ve düzeltici işler planlamaya ihtiyaç duyarlar. Öncelik sistemi yolu ile hafta sonunda gerçekleştirmek için işler çizelgelenebilir.

Üçüncü hat iş yükü: Ana bakım planını içerir. Önemli dönemler için tesisi durma durumuna getirmeye ihtiyaç vardır.

İş yüküne ait sınıflandırma Çizelge 1.2'de verilmiştir.

A. Kelly⁽³⁹⁾ bütün işleri tanımlamanın en basit yolunu, işleri güvenlik ve ekonomik kriterlere göre önceliklendirmek ve ilk 24 saatten başlamak olarak açıklamıştır. Planlamanın zorluğunu ise tek vardiyadan daha uzun süre alacak acil işler için kaynakların düzenlenmesi olarak belirtmiştir.

Çizelge 1.2 Detaylandırılmış Bakım İş Yüğü Sınıflandırması

Ana Kategori	Alt Kategori	Kategori No	Açıklamalar
İlk Hat	Düzeltilici Acil Durum	1	Rastgele zamanlarda oluşur. Güvenlik ve ekonomik mecburiyet nedeni ile acil bakım gerektirir.
	Düzeltilici Erteleilmiş Küçük	2	Acil bakım gerektirmeyen düzeltilici iş olarak meydana gelir. Bakım kaynakları uygun olana kadar ertelenebilir ya da çizelgelenebilir. Tesisin çalışması sırasında acil olan bazı küçük işler tamir edilebilir.
	Önleyici İş Programı	3	Kısa periyotlarda tekrarlayan kontroller, yağlamalar ve ufak yenilemeler gibi işlerdir.
İkinci Hat	Düzeltilici Erteleilmiş Büyük	4	2 nolu sınıflandırmada gösterilen işlerin uzun dönemli ve ana planlama gerektiren durumudur.
	Önleyici Hizmetler	5	Kısa, orta veya uzun vadede gerçekleştirilecek küçük durma durumlarını kapsar.
	Düzeltilici Yenileştirmeler ve İmalat	6	Ertelenmiş işlere benzer ve tesis dışında yapılabilir.
Üçüncü Hat	Önleyici Büyük İş	7	Tesisin büyük birimlerini ve tesisi elden geçirecek kontrol çalışmalarını kapsar. Çalışma durdurulmuştur.
	Değişiklikler	8	Gelecekteki belli zamanlar için planlanabilir.

1.5. Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

Bu çalışmanın amacı; makinelerin, diğer araç ve gereçlerin belirli zamanlardaki bakımlarının ve beklenmedik zamanlarda ortaya çıkan arızalarının giderilmesi için yürütülen faaliyetlerin, düzenli bir şekilde planlanmasını, gerçekleştirilmesini ve kayıt altına alınmasını ve çeşitli analizlere olanak sağlayan bir sistem oluşturmaktır. Bu sayede makinelerin kullanım ömrünü artırmak ve verimli şekilde kullanımını gerçekleştirmek, bakım masraflarını azaltmak, zaman kaybını en aza indirmek amacıyla bakım onarım sistemlerinin oluşturulması araştırılacaktır.

Bakım sistemlerinin oluşturulması ve çeşitli analizlerin sisteme dahil edilmesi, üretim faaliyetleri içinde önemli bir yer tutan bakım çalışmalarının optimum şekilde yürütülmesini mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda bakım planı oluşturmak ve bütünlük bakım sistemleri geliştirmek amacıyla izlenecek yol haritası ve yöntemler geliştirilecektir.

2. YÖNTEM

2.1. Bakımda Güvenilirliğin Önemi

Güvenilirlik, bir ürünün öngörölmüş işlevlerini, belirlenmiş çalışma koşulları altında, belirlenmiş ömrü boyunca yerine getirebilmesi olasılığıdır⁽⁴⁰⁾. Ürün için ömür döngüsü maliyeti (life cycle costs), ürünün tasarımından yok olmasına kadar olan tüm zamanlardaki maliyetleri içinde barındırmaktadır. Ürünün zaman içerisindeki durumu düşünüldüğünde bakım maliyetlerinin önemi göze çarpmaktadır. Güvenilirliğin de belirli bir zaman boyunca hata olup olmadığı durumu ile ilgili olduğu düşünüldüğünde bakım ve güvenilirliğin birbirini tamamlayan unsurlar olduğu söylenebilir.

1950'li yılların başında elektrik enerjisinin dağıtımı alanındaki güvenilirlik çalışmaları başlamış ve askeri elektronik sanayisinde yoğunlaşmıştır. ABD Milli Savunma Bakanlığı bünyesinde "Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment" AGREE isimli ilk ciddi kuruluş oluşturulmuştur. Bu kuruluş yaptığı ilk araştırmalarla, maliyeti 1 \$ olan bir elektronik ürünün, çalışabilmesinin sürekliliği için yılda ortalama 2 \$'lık bir bakım harcaması gerektirdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu önemli çelişki sonrası daha pahalı fakat daha az bakım gerektiren ürünlerin tasarımı fikri gelişmiş ve böylece güvenilirlik olgusu tasarımın bir parçası olarak düşünölmeye başlanmıştır⁽⁴¹⁾.

Bakımla ilgili çalışmalar kayıpları azaltma düşüncesi ile yapılmaktadır. Burada oluşan kayıp makinenin görevini yerine getirememesi olabileceği gibi yerine getirmesine rağmen çok fazla güç harcaması da olabilir. Bununun yanında istenilen

standartlara uygun olmayan ürün üretmesi durumu da gerçekleşebilir ki bu da birçok maliyet unsurunu ortaya çıkaracaktır.

Amaç bakım yapma sıklığını azaltmaktır, düzensiz bakım yapma durumunu düzenli hale getirmektir. İdeal ekipman durumunu yakalamak isteyen firmalar, günden güne farklılık gösteren bozulma durumunu tutarlı hale getirmelidirler. Oluşturulan sistem hataları önlenmeli ve makinelerin her zaman en iyi durumundaymış gibi çalışması sağlanmalıdır.

Bilindiği gibi, bir sistemin belirlenen koşullar altında belirli bir zaman periyodu içinde istenilen fonksiyonları gerçekleyecek şekilde çalışma olasılığı güvenilirlik olarak tanımlanmaktadır. Dolayısı ile güvenilirliğin en iyi açılımı bir ürünün zaman içindeki performansdır. Bu noktada bakım çalışmalarının güvenilirlikle iç içe olması gerekmektedir.

2.1.1. Güvenilirlik ve Güvenilirlik Analizi Kavramları

Güvenebilirlik, üç ana kavramı içerir; güvenilirlik (reliability), sürdürülebilirlik (maintainability) ve hazır-oluş (availability). Sürdürülebilirlik tanımı da, yeni gereksinimlerin ışığında, evrime uğramıştır. Eski tanım; "bir ürünün bakımın en kısa sürede tamamlanması" anlamında idi. Vurgulanan, bakım kolaylığı idi. Günümüzdeki beklentilerin ışığında ise, "Sürdürülebilirlik, bakımın belirtilmiş koşullar altında, belirlenmiş durumda, tanımlanmış işlemlere ve kaynaklara uygun biçimde yapılması koşulu ile bir ürünün öngörülen işlevlerini yerine getirebilecek durumda tutulması veya duruma getirilmesidir." Yeni tanımda, güvenilirliğin gereği vurgulanmakta ama süre boyutu kaldırılmış gibi görülmekte ise de, hazır-oluş

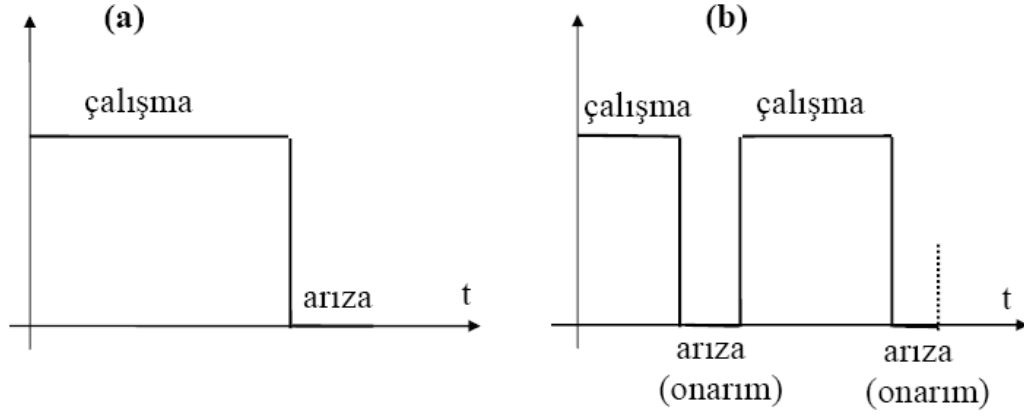
(kullanılabilirlik) kavramının giderek yaygınlaşması ve ağırlık kazanması nedeni ile süre boyutu daha da kuvvetli biçimde ön plana çıkmaktadır⁽⁴⁰⁾.

Güvenilirlik bir ürünün veya sistemin belirli işletme koşulları altında gelecekte belirli bir sürede işlevini uygun bir şekilde yerine getirme olasılığıdır⁽⁴¹⁾. Güvenilirlik gelecekteki davranışlarla alakalıdır ve gelecekteki durumların rastlantısal olması sebebi ile güvenilirlik analizleri de olasılık hesabı ile yapılabilir.

Güvenilirlik analizleri, birim güvenilirliğinin ölçüsü olarak nitelenebilen birtakım büyüklüklerin hesaplanması ve değerlendirilmesi işlemidir. Güvenilirlik analizleri açısından birimler,

- Belirli bir misyona sahip birimler (onarımsız birimler)
- Sürekli çalışan birimler (onarılabilir birimler)

olarak değerlendirilirler. Birinci grup birimler $t=0$ anında çalışmaya başlayan ve görevi süresince arızalanması istenmeyen birimlerdir. Elektronik elemanlar, füzeler vb. Sürekli çalışan birimler ise çalışma-arızalanma-onarım-çalışma döngüsü içinde davranan birimlerdir. En tipik örnekleri elemanlar, elektromekanik elemanlar ve elektrik enerji sistemleridir⁽⁴¹⁾.



Şekil 2.1 (a) Misyon Sahibi Birim (b) Sürekli Çalışan Birim

Sürekli çalışan (onarılabilir) birimler için yukarıda verilen güvenilirlik tanımından çok, söz konusu birimin belirli koşullar altında, gelecekte belirli bir anda çalışır durumda olma olasılığı olan kullanılabilirlik kullanılır.

Availability, Türkçe' ye hazır oluş, kullanılrlık, kullanılabilirlik, yararlanılrlık gibi tercüme edilebilir. T. Cebesoy⁽²⁴⁾ availability kavramından faydalanma oranı olarak bahsetmiştir ve ekipmanın belli çalışma zaman içerisinde bozulmadan gösterdiği performans şeklinde açıklamıştır.

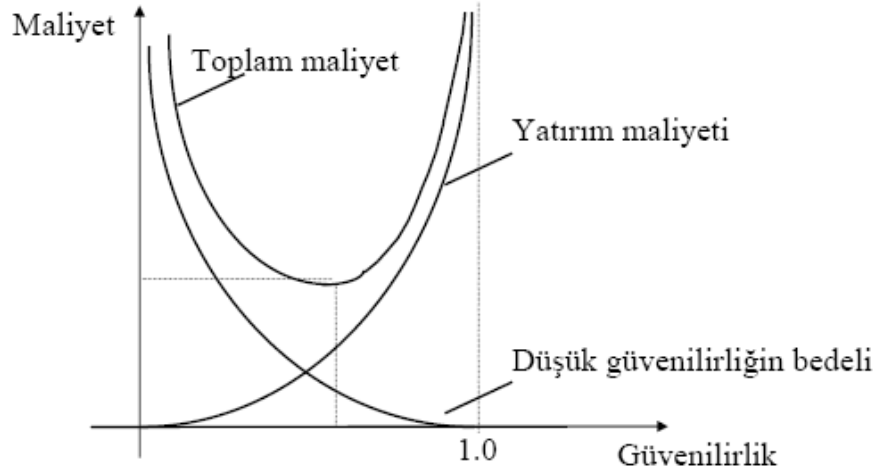
Güvenilirlik ve kullanılabilirlik şeklinde tanımlanan olasılıklar güvenilirlik analizlerinin temel büyüklükleridir. Bunlara ek olarak;

- Arızaya kadar geçen ortalama süre (ortalama çalışma süresi),
- Onarıma kadar geçen ortalama süre (ortalama arıza süresi),
- Arızalar arası ortalama süre,
- Belirli bir zaman dilimindeki arıza sayısı,

- Arızanın bedeli

temel güvenilirlik ölçütleri olarak kullanılabilir⁽⁴¹⁾.

Ürünün istenilen ömrü boyunca, uygun güvenilirlik seviyesinde, bakım ve işletim maliyeti en az olmalıdır. Optimal nokta belirli bir bölge içerisinde bakış açısına göre değişir. Ancak gerçekte düşük güvenilirliğin karşılığını sayısal olarak ortaya koyabilmek daima olanaklı değildir.



Şekil 2.2 Toplam Maliyet ve Güvenilirlik

Bir ürünün ömür boyu maliyetinin en düşük düzeyde olması ancak, güvenilirlik testleri, Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect Analysis), tasarımın gözden geçirilmesi ve arıza veri toplama ve analizi çalışmalarının yapılması ile mümkündür.

Kısaca bu konuyu toplamak gerekirse;

- Gelecekte sadece ürünlerin güvenilirliğini kontrol edebilen ve güvenilirliğini bilen şirketler ayakta kalabilecektir.
- İşletmeler güvenilirlik analizi uygulamalarının sağladığı üstünlük ve yararlardan faydalanmadıkça başarılı olamazlar.
- Birçok ürünün karmaşıklığı sürekli artmaktadır. Ürünlerin güvenilirlik tasarımlarının korunması ve daha güvenilir ürünler için en üst güvenilirliği sağlayacak tasarımlar yapılmalıdır.
- Müşteriler ve halk her gün daha fazla güvenilirliğin bilincine varmaktadır. Güvenilir olmayan bir ürünün ne kadar pahalıya mal olduğunu günlük yaşamlarında öğrenmişlerdir.

2.1.2. Genel Güvenilirlik Analizi Fonksiyonları

Güvenilirlik analizleri gelecekteki davranışların rastlantısal olması sebebi ile olasılık hesabı ile yapılmaktadır. Bu analizlerde rassal olan hata zamanıdır.

- **Hata Yoğunluk Fonksiyonu**

Hata yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki formül ile gösterilebilir. Bu fonksiyonda $R(t)$ t anında güvenilirliği göstermektedir.

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.1)$$

- **Arıza Hızı Fonksiyonu (Hata Oranı- Hazard Rate)**

Bu fonksiyonda $\lambda(t)$ arıza hızı ya da zamana bağlı hata oranıdır. Bu fonksiyon anlık hata olma olasılığını hesaplamak içindir.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.2)$$

- **Güvenilirlik Fonksiyonu**

Güvenilirlik fonksiyonu, t anına kadar hata olmaması olasılığını gösterir. Arıza hızı fonksiyonunda hata yoğunluk fonksiyonunu yerine koyduğumuzda aşağıdaki güvenilirlik fonksiyonuna ulaşılır.

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \frac{1}{R(t)} \quad (2.3)$$

$$-\lambda(t)dt = \frac{1}{R(t)}dR(t) \quad (2.4)$$

$$-\int_0^t \lambda(t)dt = \int_1^{R(t)} \frac{1}{R(t)}dR(t) \quad (2.5)$$

$$\ln R(t) = -\int_0^t \lambda(t)dt \quad (2.6)$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (2.7)$$

- **Hata Dağılım Fonksiyonu**

Rassal değişken olan hata zamanının olası en küçük değeri başlangıç anı olarak alınır ve bu genelde t=0 dır. Bu anda birimin çalıştığı varsayılır. Zamanla hata olasılığı artarken, güvenilirlik azalır ve çok uzun bir süre sonra, hata olasılığı 1'e, güvenilirlik 0'a yaklaşır.

$$R(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 1 - \lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 0 \quad (2.8)$$

F(t) hata zamanını karakterize eden birikimli dağılım fonksiyonudur ve F(t)'ye hata dağılım fonksiyonu denir. Hata meydana gelmesi olasılığından

bahsederken $F(t)$, hata meydana gelmemesi (güvenilirlik) olasılığından bahsederken $R(t)$ kullanılır⁽⁴²⁾.

- **Arızaya kadar geçen ortalama süre (Mean Time to Failure)**

Hata zamanının ortalaması, hataya kadar geçen ortalama süreyi verir. Kısaca MTTF olarak gösterilir.

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (2.9)$$

- **Onarıma kadar geçen ortalama süre (Mean Time to Repair)**

Arızalanan birimin onarım süresi de rassaldır. Onarım süresi onarım yoğunluk fonksiyonu ile temsil edilir. Onarım süresinin ortalaması ise onarıma kadar geçen ortalama süre MTTR veya ortalama onarım süresi olarak adlandırılır. Rassal değişken H onarıma kadar geçen süreyi ve $f(h)$ bu değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonunu gösterecek olursa aşağıdaki formül elde edilir⁽⁴²⁾.

$$MTTR = \int_0^{\infty} hf(h)dh \quad (2.10)$$

- **Arızalar arası ortalama süre (Mean Time Between Failures)**

Hatalar arasındaki ortalama süre, hataya kadar geçen ortalama süre ile onarıma kadar geçen ortalama sürenin toplamıdır. Hatalar arasındaki ortalama süre MTBF olarak gösterilebilir.

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2.11)$$

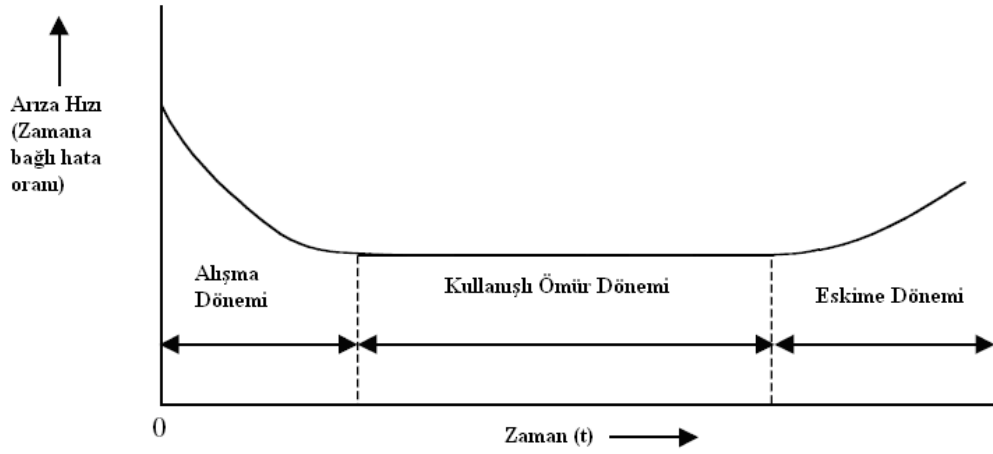
- **Kullanılabilirlik (Availability)**

$$A = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \quad (2.12)$$

2.1.3. Arıza Hızının Zamanla Değişimi

Arıza hızının zamanla değişimi “Bathtub Hazard Rate Curve” adı verilen küvet eğrisi şeklinde bir süreç izlemektedir. Bu süreç Şekil 2.3’de gösterilmiştir⁽⁴³⁾. Bu eğri, arıza hızının zamana göre değişiminin üç aşamada olduğunu göstermektedir. İlk aşama, alışma dönemi (burn-in region) olarak adlandırılabilir. Bu dönemde arıza hızı zamanla azalır. Kullanışlı ömür dönemi (useful life region) olarak isimlendirilen ikinci aşamada arıza hızı rassaldır. Son aşama ise eskime aşamasıdır(wear-out region). Son dönemde arıza hızı zamanla artar.

Tüm bu aşamalarda görülen hata nedenleri ise Çizelge 2.1’de gösterilmiştir⁽⁴³⁾.



Şekil 2.3 Arıza Hızının Zamanla Değişimi

Çizelge 2.1 Arıza Hızının Dönemlere Göre Nedenleri

Aşama	Hata nedenleri
Alışma Dönemi	<ul style="list-style-type: none">• Zayıf imalat metotları• Zayıf süreçler• Zayıf kalite kontrol• Zayıf onarım• İnsan hatası• Yetersiz materyaller ve yetersiz işçilik
Kullanışlı Ömür Dönemi	<ul style="list-style-type: none">• Düşük emniyet faktörleri• Algılanamaz kusurlar• İnsan hataları• Kötü kullanım• Beklenilenden daha yüksek tesadüfi stres• Doğal hatalar
Eskime Dönemi	<ul style="list-style-type: none">• Sürtünme nedeni ile aşınma• Zayıf bakım• Doğru olmayan tamir uygulamaları• Korozyon ve deformasyon• Yaşlanmaya bağlı aşınma

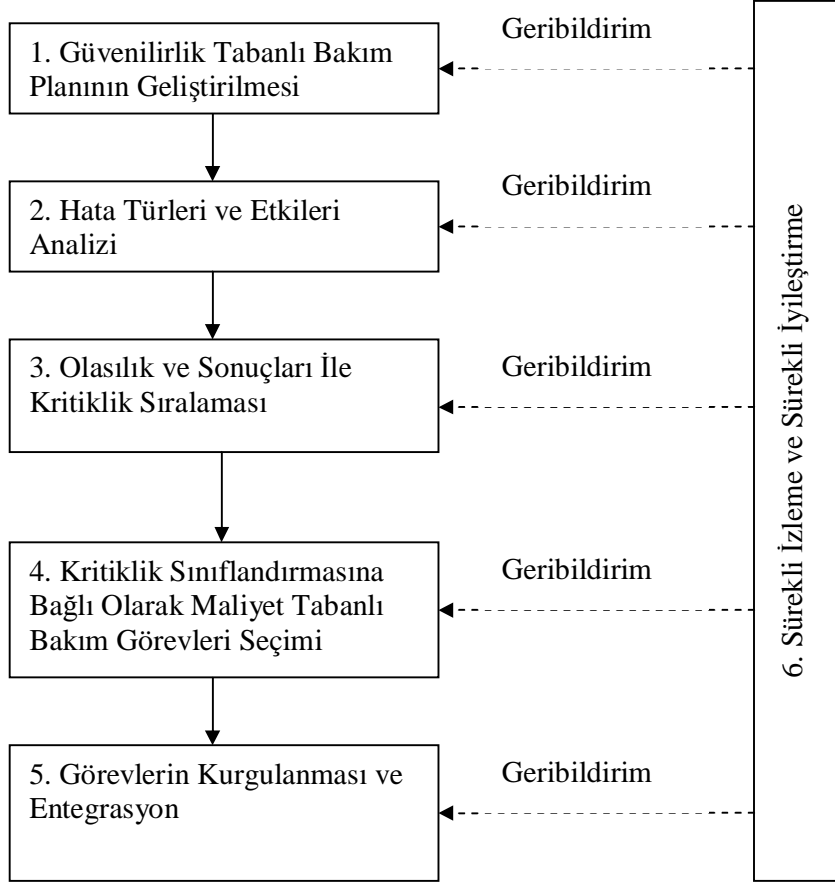
Arıza hızı genellikle 1. dereceden fonksiyonlarla verilmeyip $\lambda(t) = kt^m$ ($m \geq 0$) şeklinde fonksiyonlar ile gösterilir. Bu gösterim Weibull dağılımı için uygundur. Weibull dağılımı, arıza hızının her durumu için kullanılabilirdiğinden, güvenilirlik analizi modelleri için esnek ve kullanışlı bir dağılımdır. Bu dağılım kuvvet eğrisinin tüm bölgelerini karakterize edebilmektedir⁽⁴²⁾.

2.2. Bakım Planlamasının Adımları

Bakım çalışmalarını bir düzene halinde yürütmek, karşılaşılan problemleri ve maliyetleri azaltmak isteyen şirketler için güvenilirlik tabanlı bir bakım planı oluşturmak uygun bir çözüm olacaktır. Bu çalışma bakım planı oluşturmak isteyen firmalarca bir yol hartası olarak kullanılabilir. Ayrıca yol gösterici niteliğe sahip olan bu çalışma bütünlük bir sisteme ulaşmak isteyen işletmeler tarafından da rahatlıkla uygulanabilir.

Bakım planının oluşturulması temel olarak, uygulanacak sistemin belirlenmesi, sistemin ayrıntılarının ve özelliklerinin tanımlanması, ulaşılmak istenen amacın tespit edilmesi ile başlar. Devamında bakım planına götüreceği olan adımların uygulanması ve plan çerçevesinde çalışmaların sürekli izlenmesi ve güncellenmesi ile devam eder.

Bu bölümde bakım planını oluştururken izlenecek adımlar önerilmiştir. Bu adımlar kısaca Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4 Bakım Planlamasının Adımları

Bakım faaliyetlerinin güvenilirlik kavramı ile birlikte düşünülmesi gerektiği daha önceki bölümlerde açıklanmıştır. Yine değinmek gerekirse; güvenilirlik bir sistemin belirlenen koşullar altında belirli bir zaman periyodu içinde istenilen fonksiyonları gerçekleyecek şekilde çalışma olasılığı olarak tanımlandığından bakım faaliyetlerinin güvenilirlik kavramından uzakta düşünülmesi mümkün gözükmemektedir. Bu noktadan hareketle önerilen bakım planlaması adımlarının

ilkini güvenilirlik tabanlı bakım planının geliştirilmesi oluşturmaktadır. Bu adımda sistem elemanlarının tanımlanması, amaçların belirlenmesi ve iyileştirme yapılacak elemanların belirlenmesi hususu öne çıkmaktadır. Takip eden adımda hata türleri ve etkileri analizinin yapılması ile hataların nedenlerinin tespiti ve hatalara dair olasılıkların saptanması gerçekleştirilmektedir. Üçüncü adımda arızaların olasılık sonuçlarına göre kritiklik sıralaması yapılmaktadır. Sonrasında sıralamaya bağlı olarak maliyetleri de içine alarak bakım görevleri seçilmektedir. Görevlerin kurgulanması ve entegrasyon adımı ise belirgin olan nokta, çalışmanın bütünleşik hale getirilmesidir. Son adım olarak ifade edilen sürekli izleme ve sürekli iyileştirme aşaması ise diğer tüm aşamalarla bağlantılıdır.

Bakım planının oluşturulması için izlenebilecek yol aşağıdaki altı adımda açıklanmıştır.

2.2.1. Güvenilirlik Tabanlı Bakım Planının Geliştirilmesi

Bakım planı geliştirme aşamasında, öncelikle firmaya uygun amaçlar tespit edilmelidir. Ne var ki amacın tespitinden önce mutlaka sistemin belirlenmesi ve ayrıntılarının tanımlanması gerekmektedir. Sistem ve sistem durumunun belirli olması halinde ancak amaç doğru şekilde tespit edilebilir. Yola çıkarken yanlış rota seçen ve ulaşacağı noktayı bilmeyen bir işletmenin çalışmalarını başarıya ulaştırması mümkün değildir. Amacın tespitindeki bu hassasiyet amacın işletmeye uygun olmasının gerekmesi sebebiyledir.

Amacın uygunluğunun yanı sıra ulaşılabilir ve güçlü olması da gereklidir. Zayıf amaçlar, planın elde edilebilir sonuçların önüne geçen neden olacaktır. Yanlış

belirlenmiş amaç, çalışmalara gereken önemin verilmesini engelleyecek ve eksi motivasyon oluşturacaktır.

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde belirlenen amaç ışığında mutlaka bir taslak plan ortaya konmalıdır. Hedefe ne kadar ulaşıldığı sürekli olarak izlenmelidir.

Güvenilirlik tabanlı bakım planı yapılırken hayati olan konu, iyileştirmenin yapılacağı ekipmanın seçimidir. Yüksek faydayı sağlayacak analiz için ekipman seçimi oldukça önemlidir. Öncelikli olarak darboğaz yaratan ekipmanların seçimi tüm sistemin iyileştirilmesinde diğer ekipmanlara göre ilk aşamada daha büyük katkı sağlayacaktır.

Karar alma sürecine Pareto Analizi de yardımcı olacaktır. Pareto Analizi, karar almada elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve önem sıralaması açısından oldukça kullanışlı bir tekniktir. Pareto prensibine göre, uygunsuzlukların çok büyük bölümü belli birkaç nedene dayanmakta ve bu nedenlerin tespiti, sorunların giderilmesinde kilit rol oynamaktadır. Ancak belirtmek gerekir ki, karar alma sürecinde başka karar alma teknikleri de alternatif olarak tercih edilebilir. Bu çalışmada örnek bir uygulama olarak Pareto Analizi kullanılmıştır.

Aşağıda bakım planlaması sırasında kullanılacak, yol gösterici nitelikte bir çalışma olarak Türkiye'nin önde gelen mobilya şirketlerinden birisinin işletmelerinden biri ele alınarak Pareto Analizi uygulanmıştır. Bu çalışma diğer şirketler için de uygulanabilir.

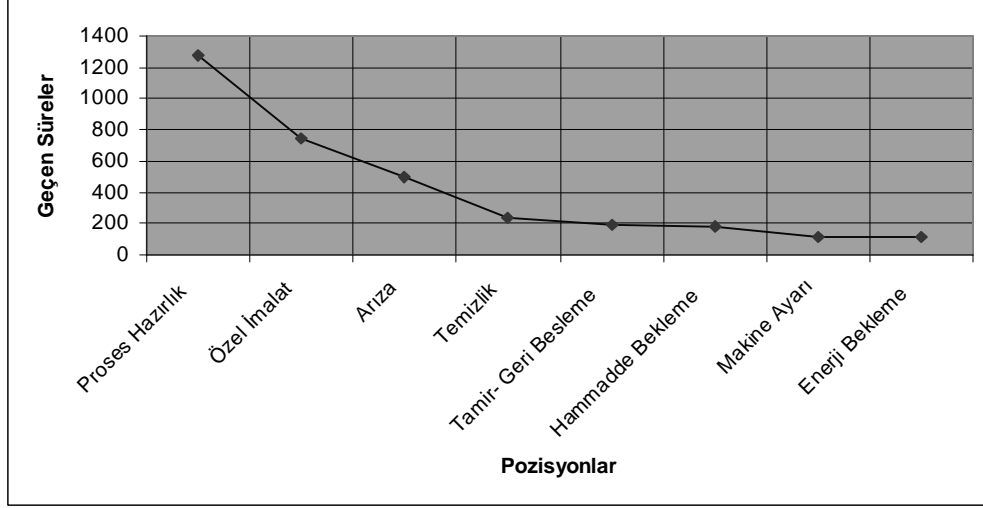
İşletme içerisindeki mevcut panel kesme, net ebatlama, küçük kenar bantlama, büyük kenar bantlama, kt2 delik delme-menteşe çakma, delik delme-kavela çakma, yüzey işleme, boy gönye kesme, kırlangıç kuyruğu açma, kapak delik

delme-menteşe çakma, kutu pres, koli yapıştırma adlı makineler için Pareto Analizi gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre istasyonların duruş sürelerindeki arıza oranlarına göre yüksek, orta ve düşük seviyede olan -küçük kenar bantlama(%48), panel kesme(%14), kutu pres(%5)- üç makine MTTF ve MTTR parametrelerinin tespiti için seçilmiştir. Makinelerin duruş süreleri Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4' verilmiştir. Bunlara bağlı oluşan duruş süreleri grafikleri ise Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Belirtmek gerekir ki, duruş sürelerindeki arıza oranlarına göre yapılan bu seçim yerine başka bir uygulama alternatif olarak gerçekleştirilebilir. Çalışmada tercih edilen seçim örnek olarak yapılmıştır.

Çizelge 2.2 Panel Kesme Makinesi Duruş Süreleri

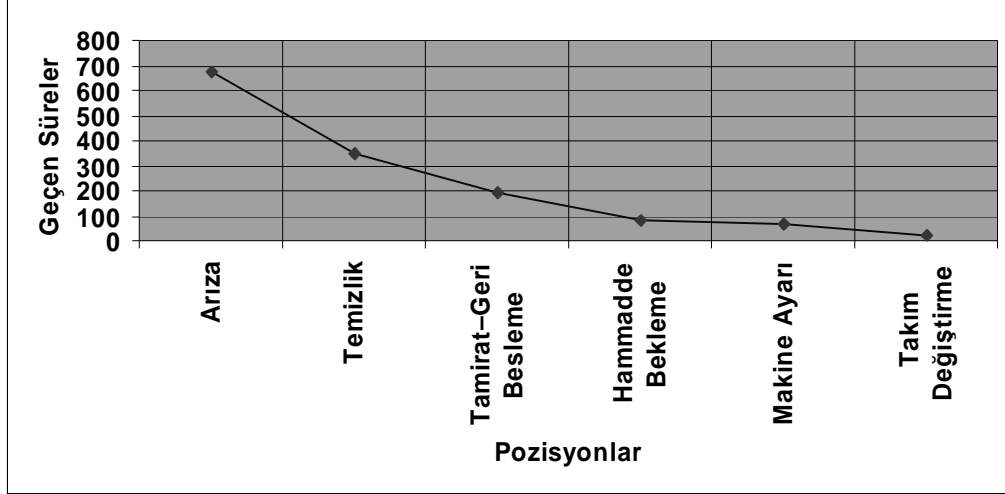
<i>Pozisyon Adı</i>	<i>Geçen Süre (dk)</i>	<i>Toplamdaki Yüzdelerik</i>	<i>Kümülatif Yüzde</i>
Proses Hazırlık	1280	%38.19	%38.19
Özel İmalat	746	%22.25	%60.44
Arıza	496	%14.80	%75.24
Temizlik	235	%7.03	%82.27
Tamir- Geri Besleme	195	%5.81	%88.08
Hammadde Bekleme	180	%5.36	%93.44
Makine Ayarı	110	%3.28	%96.72
Enerji Bekleme	110	%3.28	100%
TOPLAM	3352	100%	



Şekil 2.5 Panel Kesme Makinesi Duruş Süresi Grafiği

Çizelge 2.3 Küçük kenar Bantlama Makinesi Duruş Süreleri

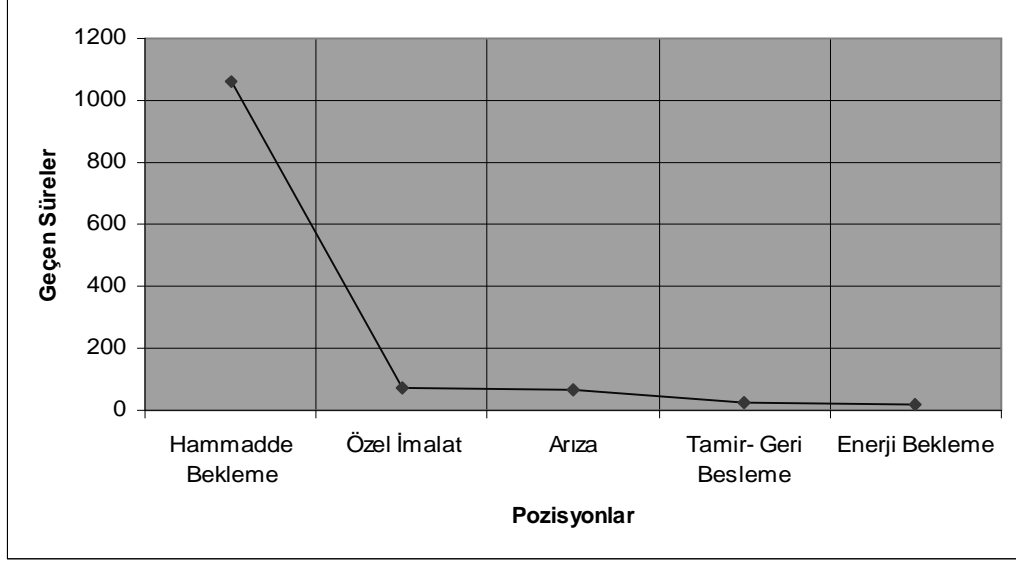
<i>Pozisyon Adı</i>	<i>Geçen Süre (dk)</i>	<i>Toplamdaki Yüzdelerik</i>	<i>Kümülatif Yüzde</i>
Arıza	674	%48.87	%48.87
Temizlik	345	%25.01	%73.88
Tamirat–Geri Besleme	190	%13.77	%87.65
Hammadde Bekleme	85	%6.16	%93.81
Makine Ayarı	65	%4.71	%98.52
Takım Değişirme	20	%1.48	100%
TOPLAM	1379	100%	



Şekil 2.6 Küçük Kenar Bantlama Makinesi Duruş Süresi Grafiği

Çizelge 2.4 Kutu Pres Makinesi Duruş Süreleri

<i>Pozisyon Adı</i>	<i>Geçen Süre</i>		
	<i>(dk)</i>	<i>Toplamdaki Yüzdeler</i>	<i>Kümülatif Yüzde</i>
Hammadde Bekleme	1063	%85.51	%85.51
Özel İmalat	70	%5.63	%91.14
Arıza	65	%5.23	%96.37
Tamir- Geri Besleme	25	%2.01	%98.38
Enerji Bekleme	20	%1.62	100%
TOPLAM	1243	100%	



Şekil 2.7 Kutu Pres Makinesi Duruş Süresi Grafiği

Detaylandırılmış güvenilirlik tabanlı bakım analizi için hazırlıkta ihtiyaç duyulabilecek diğer bir karar; ana sistemden alt sisteme teçhizatın sınıflandırmadır. Ancak bu sınıflandırma mevcut bakım stratejisi ile uyumlu olmalıdır.

2.2.2. Hata Türleri ve Etkileri Analizi

Hata Türü ve Etkileri Analizi, süreç ve bakım faaliyetlerinin düzenlenmesinden sistem ve ürün tasarımına kadar birçok alanda kullanılabilen önleyici nitelikte bir yöntemdir. Firmalar tarafından kullanılması durumunda fazlaca yarar sağlayan bir kalite tekniğidir.

Hataların nedenlerinin incelenmesi ve bu doğrultuda etkilerin azaltılması amacıyla dayalı olarak uygulanan bu teknik çalışmayı gerçekleştiren ekibin geçmiş

tecrübeleri ve konuya yaklaşımı ile doğrudan ilgilidir. Bu haliyle subjektif gibi düşünülmesi olasıdır. Ancak uygulamaya matematiksel yaklaşımların dahil edilmesi çalışmanın çok daha sağlam temellere oturtulması açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışma içinde bu analiz; ekipmanın bozulabileceği durumlara bakar, emniyet, çevresel risk, operasyonlar ve maliyetler bakımından bu hataların anlamını, hem hataların olasılıklarını hem de önemini dikkate alarak, tanımlamak için araştırma yapar.

Mühendislik kararları, bu analizin anahtar ögesi olurken, analizin tüm potansiyeli sadece iyi veri desteğiyle temin edilebilir. Dolayısı ile ileriki kısımlarda ele alınacak olan bilgi sisteminin oluşturulması sistemin kurumu için oldukça önemli bir yere sahiptir. Neticede arızaların tespiti ve ayrıntılarının kaydedilmesi ile ancak hataların sebeplerinin bulunması ve önlenmesi mümkündür.

Değindiği gibi hata türleri ve etkileri analizi, potansiyel hata nedenlerini belirlemeyi ve etkilerini azaltmayı sağlayan bir tekniktir. Bu yönetimin kullanılmasında kolaylık sağlamak için form kullanılabilir. Form sayesinde çalışma rahatlıkla gözlemlenebilir. Hataların sebeplerinin tespitinde başlangıçta tahmin yürütülebilir. Ancak tahmin yürütmek yerine daha objektif ve matematik tabanlı yöntemlerin kullanılması çalışmanın dayanıklı ve güçlü olması açısından önemlidir.

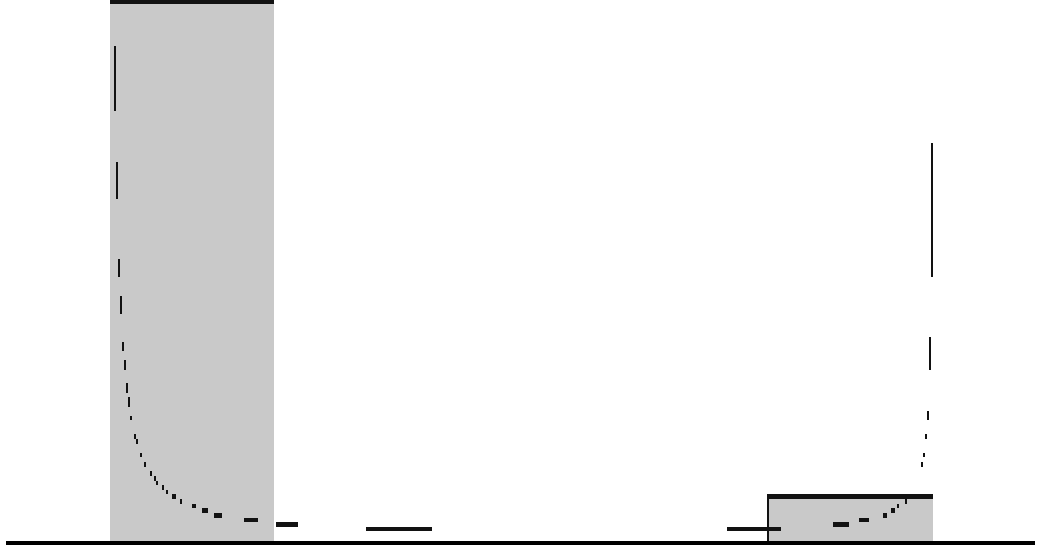
Bu bölümde önceki bölümde bahsi geçen Türkiye'nin önde gelen mobilya şirketlerinden birisinin işletmelerinden biri ele alınarak yapılan Pareto Analizi uygulanmasının ardından MTTF ve MTTR parametrelerinin tespitinin yapılması yol gösterici olarak gerçekleştirilmiştir. Hataların önlenmesi noktasında hatalara dair olasılıklarının nasıl olduğu bilinmemektedir.

MTTF ve MTTR parametreleri makinelerin bir aylık beleme rapor dökümü incelenerek çıkartılmıştır. Elde edilen MTTR sonuçları ve MTTF sonuçları Çizelge 2.5’de gösterilmiştir. Bu çıkan sürelerin hangi dağılıma uyduğu Arena 8.01 – Input Analyzer programı kullanılarak bulunmuştur.

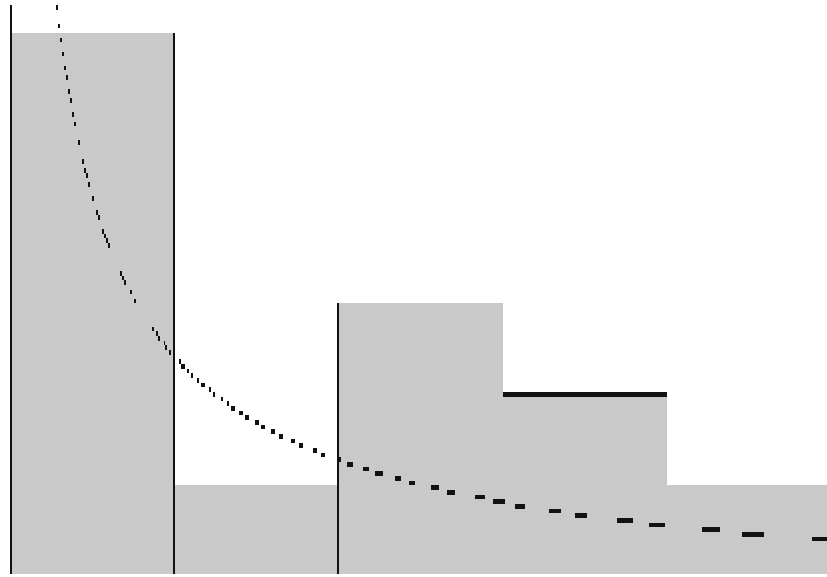
Çizelge 2.5 MTTR Sonuçları ve MTTF Sonuçları

MTTR sonuçları			MTTF sonuçları		
Panel kesme	Küçük kenar bantlama	Kutu pres	Panel kesme	Küçük kenar bantlama	Kutu pres
6	19	33	4184	2801	2387
7	125	13	6989	1825	62737
32	122	19	39	1278	3404
30	125		11	1175	12780
12	6		4792	7006	
9	18		1471	9795	
14	36		3053	1034	
18	121		186	414	
31	63		7606	11172	
8	31		5309	724	
302	8		637	5806	
			363	816	
			9530		

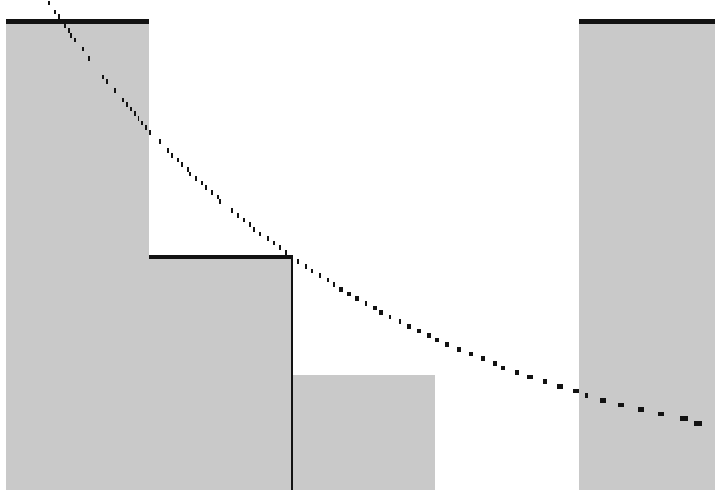
Yapılan analiz sonucu panel kesme makinesine ait MTTR sonuçlarının Beta dağılımına(Şekil2.8), küçük kenar bantlama makinesine ait MTTR sonuçlarının Üstel dağılıma (Şekil 2.10)ve kutu pres makinesine ait MTTR sonuçlarının Beta dağılımına (Şekil 2.12) uyduğu tespit edilmiştir. Panel kesme makinesi için MTTF sonuçlarının Gamma dağılımına(Şekil 2.9), küçük kenar bantlama için MTTF sonuçlarının Weibull dağılımına (Şekil 2.11) ve kutu pres makinesi için MTTF sonuçlarının Weibull dağılımına (Şekil 2.13)uyduğu sonucuna ulaşılmıştır.



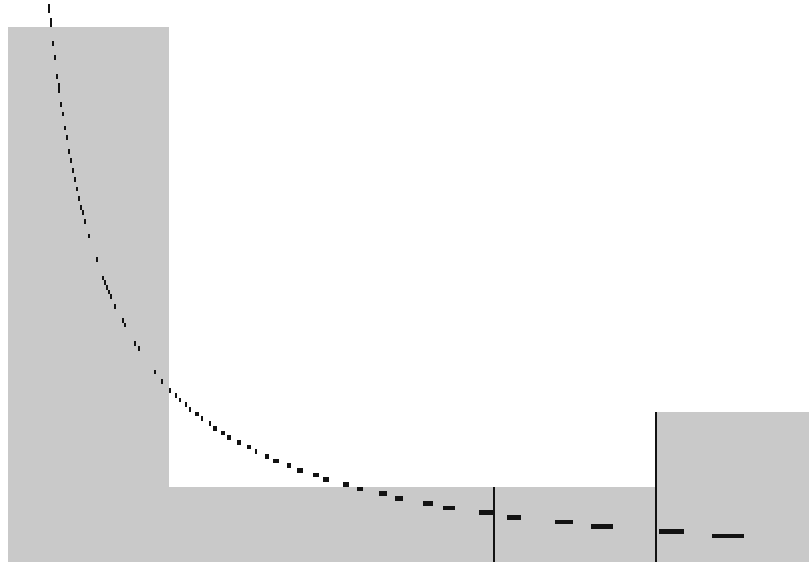
Şekil 2.8 Panel Kesme MTTR Beta Dağılımı: $6 + 296 * \text{BETA}(0.0361, 0.296)$



Şekil 2.9 Panel Kesme MTTF Gamma Dağılımı: $11 + \text{GAMM}(9.39e+003, 0.36)$

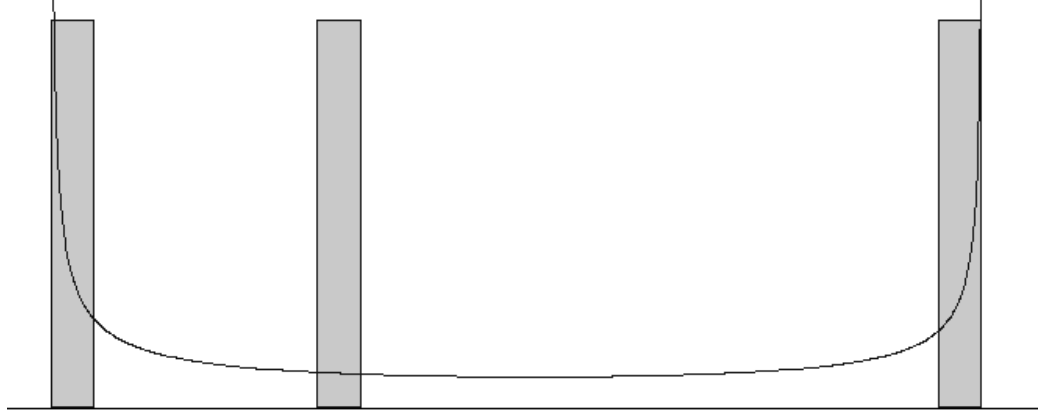


Şekil 2.10 Küçük Kenar Bantlama MMTR Üstel Dağılımı: $6 + \text{EXPO}(55.3)$



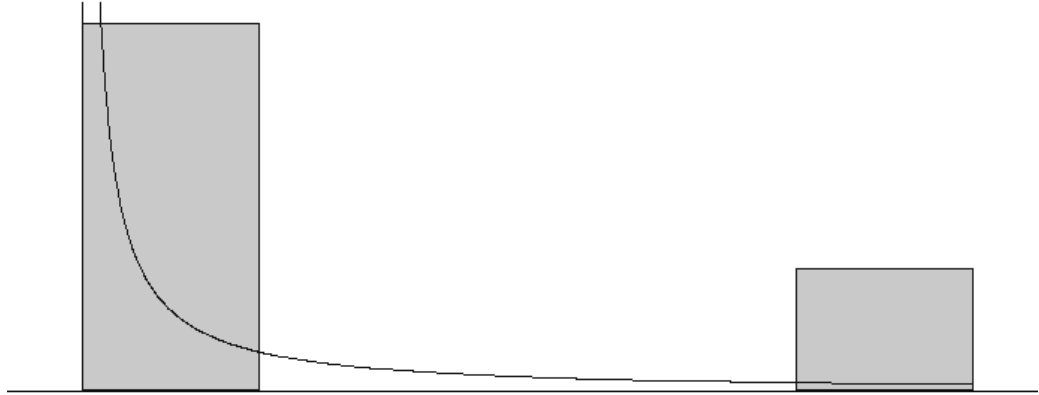
Şekil 2.11 Küçük Kenar Bantlama MTTT Weibull Dağılımı:

$$414 + \text{WEIB}(2.22e+003, 0.515)$$



Şekil 2.12 Kutu Pres MTTR Beta Dağılımı:

$$12.5 + 21 * \text{BETA}(0.416, 0.459)$$



Şekil 2.13 Kutu Pres MTTF Weibull Dağılımı:

$$2.39e+003 + \text{WEIB}(3.37e+003, 0.225)$$

MTTF ve MTTR parametrelerinden elde edilen bilgilere göre diğer güvenilirlik analizi fonksiyonları hesaplanabilecektir. Arena 8.01 – Input Analyzer programı kullanılarak panel kesme, küçük kenar bantlama ve kutu pres makinelerine ait elde edilen MTTF parametrelerinin dağılımları üstel dağılıma benzetilmiştir. Bu

doğrultuda panel kesme makinesine ait ifade $11 + EXPO(3.39e+003)$, küçük kenar bantlama makinesine ait ifade $414 + EXPO(3.24e+003)$, kutu pres makinesine ait ifade $2.39e+003 + EXPO(1.79e+004)$ olarak bulunmuştur.

Bu noktada şunu belirtmek gerekir ki, MTTF parametrelerinin dağılım ifadelerinin üstel dağılıma benzetilmesinin nedeni, üstel dağılıma ilişkin hata yoğunluk fonksiyonu, arıza hızı fonksiyonu, güvenilirlik gibi fonksiyonların hesaplanmasının ve anlaşılmasının kolay olmasıdır. Yol gösterici olarak yapılan bu çalışmada üstel dağılım hesap kolaylığı açısından seçilmiştir. Diğer dağılımların kullanılması da mümkün alternatiflerdir.

Üstel dağılım için hata yoğunluk fonksiyonu, arıza hızı fonksiyonu, güvenilirlik ve MTTF fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \quad (2.13)$$

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.14)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \quad (2.15)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.16)$$

Makineler için elde edilen üstel dağılım ifadesine göre λ bulunabilir.

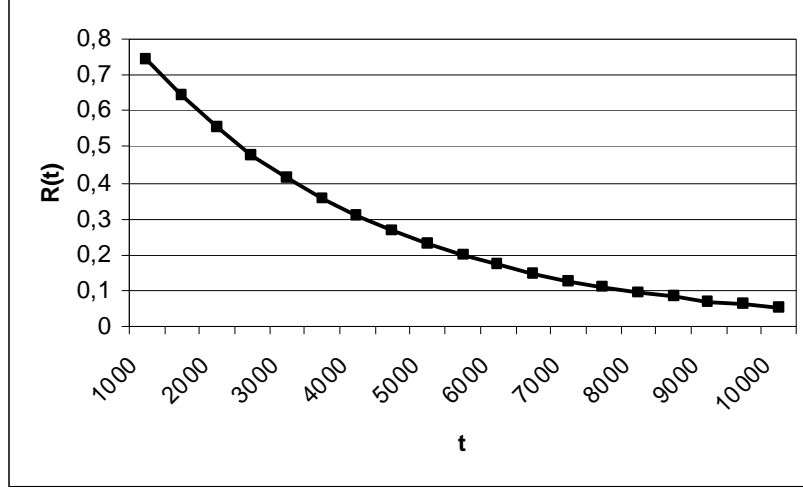
$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (2.17)$$

Panel kesme makinesi için farklı t anlarındaki arıza hızı fonksiyonu, hata yoğunluk fonksiyonu ve güvenilirlik değerleri Çizelge 2.6' da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Panel Kesme Makinesi İçin Güvenilirlik Fonksiyonları

MTTF	λ	t	$\lambda(t)$	f(t)	R(t)
3390	0,000295	1000	0,000295	0,000219629	0,744543
3390	0,000295	1500	0,000295	0,000189511	0,642443
3390	0,000295	2000	0,000295	0,000163523	0,554344
3390	0,000295	2500	0,000295	0,000141099	0,478326
3390	0,000295	3000	0,000295	0,00012175	0,412732
3390	0,000295	3500	0,000295	0,000105054	0,356134
3390	0,000295	4000	0,000295	9,0648E-05	0,307297
3390	0,000295	4500	0,000295	7,82174E-05	0,265157
3390	0,000295	5000	0,000295	6,74913E-05	0,228796
3390	0,000295	5500	0,000295	5,82362E-05	0,197421
3390	0,000295	6000	0,000295	5,02502E-05	0,170348
3390	0,000295	6500	0,000295	4,33593E-05	0,146988
3390	0,000295	7000	0,000295	3,74134E-05	0,126831
3390	0,000295	7500	0,000295	3,22828E-05	0,109439
3390	0,000295	8000	0,000295	2,78559E-05	0,094431
3390	0,000295	8500	0,000295	2,4036E-05	0,081482
3390	0,000295	9000	0,000295	2,07399E-05	0,070308
3390	0,000295	9500	0,000295	1,78958E-05	0,060667
3390	0,000295	10000	0,000295	1,54417E-05	0,052347

Şekil 2.14'deki panel kesme makinesine ait güvenilirlik grafiği incelendiğinde hata oluşmasından sonra geçen t zamanı arttıkça güvenilirliğin azaldığı görülmektedir.



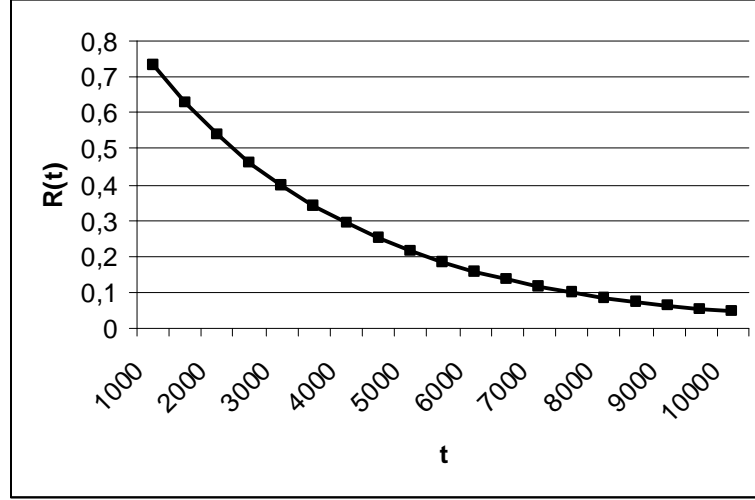
Şekil 2.14 Panel Kesme Makinesi İçin Güvenilirlik Grafiği

Aynı şekilde küçük kenar bantlama makinesi için farklı t anlarındaki arıza hızı fonksiyonu, hata yoğunluk fonksiyonu ve güvenilirlik değerleri Çizelge 2.7' de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Küçük Kenar Bantlama Makinesi İçin Güvenilirlik Fonksiyonları

MTTF	λ	t	$\lambda(t)$	f(t)	R(t)
3240	0,000309	1000	0,000309	0,000227	0,734444
3240	0,000309	1500	0,000309	0,000194	0,629416
3240	0,000309	2000	0,000309	0,000166	0,539408
3240	0,000309	2500	0,000309	0,000143	0,462271
3240	0,000309	3000	0,000309	0,000122	0,396164
3240	0,000309	3500	0,000309	0,000105	0,339512
3240	0,000309	4000	0,000309	8,98E-05	0,29096
3240	0,000309	4500	0,000309	7,7E-05	0,249352
3240	0,000309	5000	0,000309	6,6E-05	0,213694
3240	0,000309	5500	0,000309	5,65E-05	0,183135
3240	0,000309	6000	0,000309	4,84E-05	0,156946
3240	0,000309	6500	0,000309	4,15E-05	0,134502
3240	0,000309	7000	0,000309	3,56E-05	0,115268
3240	0,000309	7500	0,000309	3,05E-05	0,098784
3240	0,000309	8000	0,000309	2,61E-05	0,084658
3240	0,000309	8500	0,000309	2,24E-05	0,072552
3240	0,000309	9000	0,000309	1,92E-05	0,062177
3240	0,000309	9500	0,000309	1,64E-05	0,053285
3240	0,000309	10000	0,000309	1,41E-05	0,045665

Şekil 2.15'deki küçük kenar bantlama makinesine ait güvenilirlik grafiği incelendiğinde hata oluşmasından sonra geçen t zamanı arttıkça güvenilirliğin azaldığı görülmektedir.



Şekil 2.15 Küçük Kenar Bantlama Makinesi İçin Güvenilirlik Grafiği

Yapılan bu analiz planlanacak olan bakım çalışmalarına ışık tutacaktır ve bakım çalışmalarının ne kadar sıklıkta ve hangi zamanlarda yapılması gerektiği kararlarına destek oluşturacaktır.

2.2.3. Olasılık ve Sonuçları İle Kritiklik Sıralaması

Sürecinin bu adımı, organizasyonun önem şiddeti ve olasılıklarına uygun olarak sıralamasını ve her hatadan kaynaklanan kayıp ekipman fonksiyonunun anlamlı olup olmadığını tanımlamayı gerektirir.

Bu aşamada yapılması gereken, makinelere ait arızalarla ilgili olasılıkların tespitinin ardından güvenilirliklerinin bulunması ve buna göre kritiklik sıralamasının yapılmasıdır.

Başlı başına hataların anlamı hakkında karar vermek, varlık hiyerarşisinde ilişkili ekipmanların genel durumunu anlamayı gerektirir. Örneğin hiyerarşide kritik

bir yeri olan küçük bir parça ekipmanın hatası, yedek kapasitede olan daha büyük bir parçadan daha önemli olabilir.

Bakım planı geliştirilirken bir şeyin önemli olup olmadığının yanında ne kadar öneme sahip olduğu da anlaşılmalıdır.

Bakım planı geliştirirken öncelikleri belirlemenin yanı sıra maliyet, güvenilirlik, arıza süresi, çevresel risk ve iş performansına toplam etki gibi anahtar faktörlerde ölçülen büyük problemlerin görüldüğü alanları anlama da önemlidir.

2.2.4. Kritiklik Sınıflandırmasına Bağlı Olarak Maliyet Tabanlı Bakım Görevleri Seçimi

Güvenilirlik tabanlı bakım süreci, çeşitli bakım işleri seçeneklerinin listelenmesini ve maliyete en fazla etki eden seçenekleri seçmeyi önerir. Bu noktada hataların sebeplerinin tespitinde ve önlemlerinin alınmasında odak noktanın maliyet olarak düzenlenmesi gerçekleştirilir. En az harcama ile en çok kazancı sağlayacak çalışmalar seçilmeli ve uygulanmaya geçilmelidir.

Bir önceki adımda elde edilen kritiklik sıralamasının sonuçlarının maliyet bilgileri ile desteklenmesi maliyet açısından da sistemin kurgulanmasını sağlayacaktır.

2.2.5. Görevlerin Kurgulanması ve Entegrasyon

Bu aşamada görevler yapılan çalışmalar ışığında belirlenmeli ve bakım çalışmalarının diğer işletme faaliyetleri ile bütünleştirilmesi sağlanmalıdır. Sonuçlar, var olan bakım yönetiminin bir parçası olarak tamamlanana kadar; güvenilirlik

tabanlı bakım sürecinin gerçek yararına ulaşır ulaşmadığını fark etmek zordur. Başarılı bir bütünleşmenin sonuçları; değişen bakım uygulamaları ve daha merkezi, daha etkili yaklaşım olacaktır.

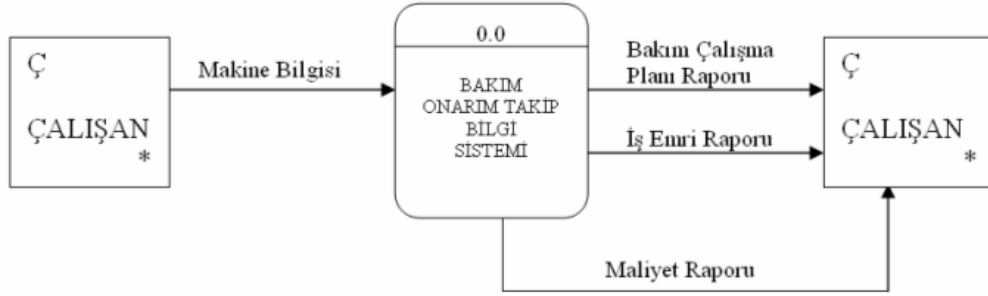
Bu doğrultuda analizin sonucu olarak tanımlanan bireysel görevler, kurgulanmaya ve bütünleştirmeye ihtiyaç duyacaktır. Geliştirilen güvenilirlik tabanlı bakım planının tavsiye ettiği görevler var olan iş programı ile kolayca bütünleşmediğinde ve organizasyona ait yetenekler, kaynaklar, bilgiler ve kültür ile desteklenmediğinde başarısızlık kaçınılmazdır.

Bütünleşmenin sağlanmasında bilgi sistemine dönüştürme önemli bir yardımcı olacaktır.

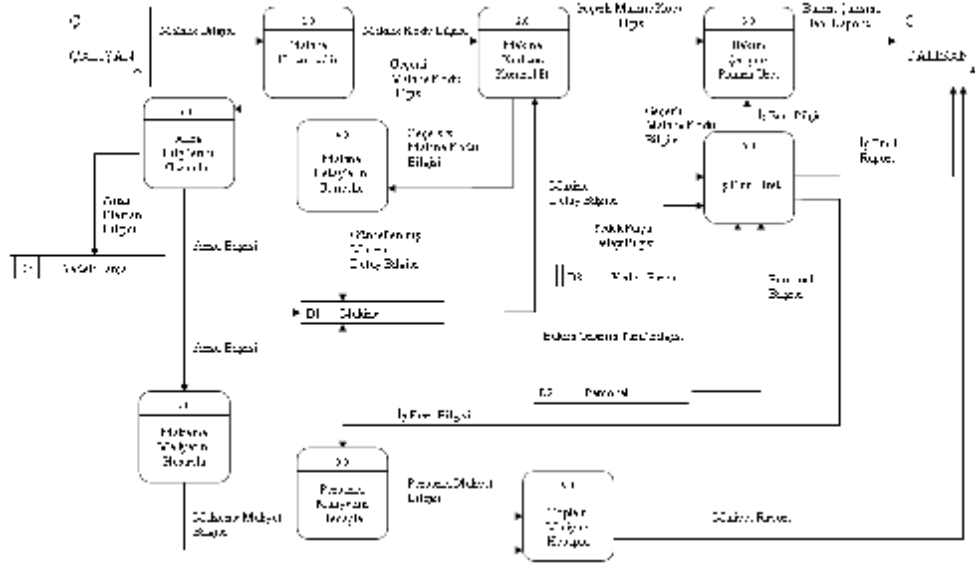
Bilgi Sistemine Dönüştürme

Yapılan analiz sonucu oluşturulacak olan bakım planı işletmenin diğer bölümleriyle de etkileşim halinde olmalı ve sistemin bütünleşik şekilde faaliyetlerine devamı sağlanmalıdır. Bilgi sistemine dönüştürme, bakımla alakalı tüm bilgilerin kayıt altına alınması ve bu bilgilere kolay ulaşılması için önemlidir. Diğer bölümlerle birlikte hareket etmek ancak bilgi sisteminin oluşturulması ve kullanılması ile mümkün olacaktır.

Şekil 2.16'da bütünleşik bakım planlama ve kontrol sistemleri için uygulanabilir bir şema verilmiştir⁽¹⁾.



Şekil 2.17 Kaba İlişki (Context) Diyagramı



Şekil 2.18 0 Seviye (Overview) Diyagramı

Yukarıdaki 0 seviye diyagramıyla özetlenen akış şu şekilde başlamaktadır: çalışan tarafından makine bilgisi sisteme makine kodu ile girmektedir. Dolayısı ile sistemin doğru işlemesi için öncelikli olarak sistem elemanlarının tanımlanmış olması gerekmektedir. Bu tanımlama burada makine bazında karşımıza çıkmaktadır.

Ancak sistem elemanları tanımlanmasından kasıt; sistem çalışanları, makine tanımlamaları, oluşan ve oluşabilecek arızalara ilişkin tamir bilgileri, makinelerin yedek parçalarına dair bilgileri ve bunlara ilişkin maliyetlerdir. Sisteme girilen makine kodu makine veri deposundan alınan makine detay bilgisi ile doğrulanmaktadır. Eğer bu doğrulanma sağlanırsa geçerli makine kodu bilgisi ve iş emri bilgisi ile bakım çalışma planı üretilir ve çalışana bakım çalışma planı raporunu verilir. Yine geçerli makine kodu bilgisi arıza bilgilerinin güncellenmesini sağlar ve devamında arıza bilgilerini güncelle prosesin çıktısı olarak arıza elemanı bilgisi yedek parça veri deposuna gönderilir. Arıza bilgilerini güncelle prosesinin diğer bir çıktısı ise arıza bilgisidir ki bu bilgi hem makine veri deposuna hem de malzeme maliyetlerini hesaplama prosesine gönderilmektedir. Malzeme maliyetini hesaplama prosesinin çıktısı, malzeme maliyet bilgisi ise toplam maliyetin hesaplanması prosesinin girdisi olacaktır. Doğrulamanın sağlanmaması durumunda ise geçersiz makine kodu bilgisi makine detaylarını güncelle prosesine ulaştırılır. Bu işlem sayesinde yeni makinelerin sisteme kaydının gerçekleştirilmesi sağlanabilir. Eğer yanlışlıkla makine kodu kusurlu girilmişse sistemin istediği bilgiler kullanıcı tarafından sisteme tanıtılmadığından uyarı vererek bu yanlış işlem durdurulmuş olacaktır. Şayet yeni bir makine sisteme tanıtılıyor ise makine detaylarının güncellenmesi prosesinin çıktısı olan güncellenmiş makine detay bilgisi makine veri deposuna ulaştırılacaktır. Diğer taraftan geçerli makine kodu bilgisi iş emri üret prosesinin de girdisi olacaktır. İş emri üret prosesinin diğer girdileri ise makine veri deposundan alınan bakım onarım tarifi bilgisi, yedek parça veri deposundan alınan yedek parça detay bilgisi ve personel veri deposundan alınan personel bilgisidir. Bu prosesin çıktısı ise çalışana verilen iş emri raporu, bakım çalışma planını üret prosesinin girdisi olarak iş emri bilgisi ve personel maliyetini hesaplama prosesinin

girdisi olan iş emri bilgisidir. İş emri bilgisi ayrıca makine veri deposuna ulaştırılır. Personel maliyetini hesapla prosesinin çıktısı ise personel maliyet bilgisidir. Toplam maliyeti hesapla prosesine ait girdiler ise malzeme maliyet bilgisi ve personel maliyet bilgisidir. Toplam maliyeti hesapla prosesi çıktı olarak maliyet raporunu çalışana vermektedir.

Kısacası bu diyagramla en basit şekilde özetlenen, çalışana bakım çalışma raporu, iş emri raporu ve maliyet raporunun sunulmasıdır. Belirtmek gerekir ki, sistem uygulanacak firmaya özgü tasarlanabilir ve verimli şekilde kullanılması için geliştirilebilir. Bu çalışma ile yol gösterici olarak yukarıda verilen diyagramlar önerilmiştir.

Bu noktada kullanılacak veri depolarındaki bilgiler için örnek dosyalar Çizelge 2.8, Çizelge 2.9 ve Çizelge 2.10'de gösterilebilir.

Çizelge 2.8 Makine Dosyası

Mak_Ko du	Mak_Adı	Arz	Arz Neden	Arz_Ol_Zam	Arz _No	Arz_Gid_Sür	Arz_ Trf
Mak002	KçKnrBan	A	klm	02.05.06 22:41	1	02.05.06 23:00	aaaaa
Mak003	YüzİşMak	C	mns	03.05.06 18:43	2	03.05.06 20:45	ccccc
Mak001	PanelKsm	X	plk	03.05.06 21:44	3	03.05.06 22:00	xyzxy
Mak002	KçKnrBan	B	tys	04.05.06 05:25	4	04.05.06 07:30	bbbbb
Mak001	PanelKsm	X	plk	08.05.06 18:29	5	08.05.06 18:40	xyzxy
Mak001	PanelKsm	Z	cmd	08.05.06 19:19	6	08.05.06 19:25	zzzzz
Mak001	PanelKsm	T	dfh	08.05.06 19:23	7	08.05.06 19:30	tttttt
Mak001	PanelKsm	Y	abc	12.05.06 03:22	8	12.05.06 03:54	yyyyy
Mak004	DelikDel	X	plt	16.05.06 15:42	9	16.05.06 15:47	xxxxx

Oluşturulan bu dosyada makinede oluşan arızalar, arızaların nedenleri, arıza oluşma zamanları, arıza giderilme zamanı, arızanın giderilmesi için arıza tarifleri ve arızaya ait numara bilgileri mevcuttur. Bu bilgiler sistemin işlemesi için kullanılması gereken temel bilgilerdir. Uygulanacak firmaya özgü olarak sistem dosyaları geliştirilebilir.

Bu örnek dosyada arızaların nedenlerinin tanıtılması hataların giderilmesi noktasında önemli bir yardımcı olacaktır. Arıza oluşma ve giderilme zamanları ise MTTF, MTTR, gibi parametrelerin tespitinde kullanılacaktır. Arıza no ise diğer dosyalarla oluşması istenen bağlantının sağlanması için anahtar değer olacaktır. Bu sayede ilişkisel olarak veri tabanının oluşturulması sağlanacaktır. Bilindiği gibi ilişkisel veri tabanlarında tüm veri elemanları, satır ve sütunlardan oluşan basit tablolarda yer almaktadır ve en az bir tane ortak veri elemanı ile (anahtar değer) esneklik sağlanmakta, hızlı veri erişimi gerçekleştirilerek esneklik oluşturulmaktadır.

Çizelge 2.9 Personel Dosyası

Personel_No	Personel_Adi	Personel_Dur	Arz_No	İşç_Mal(p/s)
10001	Ali Bal	Ç	3	5
10001	Ali Bal	Ç	5	5
10001	Ali Bal	Ç	9	5
10002	Mehmet Duyar	İ	-	6
10003	İsmail Özsoy	Ç	1	7
10003	İsmail Özsoy	Ç	4	7
10004	Fatih Kartal	Ç	6	5

Personel dosyasındaki bilgiler ise bu sistemde personel maliyetinin hesaplanması için tasarlanmıştır. Sistemde personelin durumu (çalışıyor veya izinli olmasına göre) iş emrinin üretilmesinde kullanılacaktır.

Çizelge 2.10 Yedek Parça Dosyası

Yedek Par No	Yedek Par Adı	Mak Kodu	Yedek Par Mal	Yedek Par Stok	Arz No
1230	AAA	Mak003	25	10	2
1255	CCC	Mak001	12	200	3
1257	EEE	Mak002	30	10	4
1255	CCC	Mak001	12	199	5
1256	DDD	Mak001	20	50	6
1255	CCC	Mak004	12	198	9

Yedek parçalara ait bilgiler malzeme maliyetinin hesaplanması ve sonrasında toplam maliyetin hesaplanması için kullanılacaktır. Ayrıca bu dosyadaki yedek parçaların hangi makine arızasının giderilmesi veya hangi makine için kullanılabileceği bilgilerine de ulaşılabilir.

Oluşturulacak bilgi sistemi çerçevesinde kullanıcı arayüzü olarak Şekil 2.19 ve Şekil 2.20 önerilebilir.

Bakım Onarım Takip Bilgi Sistemi ile birçok rapora kolaylıkla ulaşılacaktır. Elde edilebilecek bu raporlar, yönetici ve çalışan için karar verilmesi noktasında oldukça yardımcı olacaktır. Yapılan çalışmaların takibi, makinelere ilişkin bilgiler (ne zaman arıza verdiği ve verebileceği, hangi arızalarla karşılaşılabileceği, arızanın giderilmesi için arıza tarifleri gibi), arızaların süreleri gibi bilgiler sağlanabilecektir.

Kullanıcı, Kurumsal Kaynak Planlama Sistemi penceresinden Bakım Onarım Takip Bilgi Sistemini seçebilir. Bu alt başlık sayesinde ise Bakım Çalışma Planına, İş Emrine, Maliyet Raporuna ve detay raporlar olarak; MTTF, MTTR, MTTB, Makine Analizi, Arıza Analizi, Arıza Oranı, Kullanılabilirlik, Yedek Parça Durumu ve Personel Durumu raporlarına da kolaylıkla ulaşabilir.



Şekil 2.19 Kurumsal Kaynak Planlama Sistemi Arayüzü

Karar almada destek oluşturması noktasında örnek vermek gerekirse; Arıza Oranı modülü ile arıza oranı grafiği elde edilebilir ve azalan bir seyir izlediği görüldüğünde, beklenmedik bir anda oluşabilecek arızanın oluşma olasılığının düştüğü kanısına sahip olarak bakım çalışmalarına yön verilebilir.



Şekil 2.20 Bakım Onarım Takip Bilgi Sistemi Arayüzü

Çalışana sunulan raporların nasıl olabileceğine dair öneriler de Şekil 2.21, Şekil 2.22 ve Şekil 23’de sunulmaktadır.

Personel_No	Personel_Adı	Mak_Kodu	Arz	Arz_Trf	Yedek_Par_No

Şekil 2.21 İş Emri Raporu

Personel No	Personel Adı	İsc. Mal (n/s)	Çk. Sür.	Yedek Par. Mal.	K. YP Adeti	Mz. Mal	Toplam Mal

Yazdır
Gönder
Geri Dön

Şekil 2.22 Maliyet Raporu

Çalışılacak Gün	Personel No	Mak. Kodu	Meydana Gelebilecek Arıza	Meydana Gelebilecek Arıza Zamanı	Öncelik	Yapılacak Çalışma

Yazdır
Gönder
Geri Dön

Şekil 2.23 Bakım Çalışma Planı Raporu

Bilgi sisteminin oluşturulması, yönetici ve diğer personelin karar verme noktasında kullanacakları bilgilerin düzenlenmesini sağlayarak daha etkili bilgilere kısa sürede ulaşılmasına olanak sunar. İşletme içerisinde değişik kişi veya birimlerde bulunan verilerin ortak bir merkezde toplanmasını sağlayarak bütünlük şeklinde hareket etmeye olanak verir.

2.2.6. Sürekli İzleme ve Sürekli İyileştirme

Bu sürecin son adımı; yapılan adımların ve kurulan sistemin sürekli izlenmesi, eksikliklerin giderilerek zayıf yönlerin geliştirilmesi, sürekli iyileştirilmesidir.

Bu aşama diğer tüm aşamalarla bağlantılı olmak durumundadır. Ancak bu şekilde sistemin güncelliğinin sağlanması, iyileştirmelerin yapılması ve sistemin takibi sağlanacaktır.

Ayrıca bakım personeli tarafından sisteme geri dönüşler mutlaka gerçekleştirilmelidir. Geri dönüşler, tamamlanmamış ve ilave çalışma gerektiren işler, kaynak kullanımı, gerçekleştirilen işler ve arızaların nedenleri olarak sıralanabilir. Bu bilgilerin sisteme kaydedilmesi sistemin etkin şekilde çalışması, personelin verilere doğru şekilde ulaşması ve bilgileri doğru biçimde kullanması, yeni personelin önceki verilere ulaşım sistemi hızlı şekilde tanınması gibi amaçlara hizmet edecektir.

Vurgulanması gereken önemli bir diğer nokta çalışanlara gerekli eğitimlerin verilmesidir. Çalışanların sistem hakkındaki bilgilenmeleri sağlanmalıdır. Sisteme işlevsellik kazandırılması ancak çalışanların sisteme verdikleri önem ile sağlanabilir. Sistemin oluşturulması noktasında da çalışanların bilgileri ve yorumları önemlidir. Neticede arızaların giderilmesi noktasında tecrübeli ve uzman olan onlardır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde çalışmanın ikinci bölümünde anlatılan bakım planlaması adımlarının uygulanması sırasında elde edilen veriler tekrar vurgulanacaktır.

Çalışmada Türkiye'nin önde gelen mobilya şirketlerinden birisinin işletmelerinden biri ele alınarak yapılan Pareto Analizi uygulanmıştır.

İşletme içerisindeki mevcut panel kesme, net ebatlama, küçük kenar bantlama, büyük kenar bantlama, kt2 delik delme-menteşe çakma, delik delme-kavela çakma, yüzey işleme, boy gönye kesme, kırlangıç kuyruğu açma, kapak delik delme-menteşe çakma, kutu pres, koli yapıştırma adlı makineler için Pareto Analizi gerçekleştirilmiştir.

Pareto Analizi uygulanmasının ardından MTTF ve MTTR parametrelerinin tespitinin yapılması yol gösterici olarak gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre istasyonların duruş sürelerindeki arıza oranlarına göre yüksek, orta ve düşük seviyede olan -küçük kenar bantlama(%48), panel kesme(%14), kutu pres(%5)- üç makine MTTF ve MTTR parametrelerinin tespiti için seçilmiştir.

Yapılan analiz sonucu panel kesme makinesine ait MTTR sonuçlarının Beta dağılımına, küçük kenar bantlama makinesine ait MTTR sonuçlarının Üstel dağılıma ve kutu pres makinesine ait MTTR sonuçlarının Beta dağılımına uyduğu tespit edilmiştir. Panel kesme makinesi için MTTF sonuçlarının Gamma dağılımına, küçük kenar bantlama için MTTF sonuçlarının Weibull dağılımına ve kutu pres makinesi için MTTF sonuçlarının Weibull dağılımına uyduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde

edilen dağılımlar üstel dağılıma benzetilmiştir ve makineler için hata yoğunluk fonksiyonu, arıza hızı fonksiyonu ve güvenilirlik fonksiyonu tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar çalışmanın uygulama noktasında bir başlangıç teşkil edebilecektir. Önerilen adımlar devam ettirilerek çalışmanın neticelendirilmesi sağlanabilecektir.

Ayrıca çalışma kapsamında bir Bakım Onarım Takip Bilgi Sistemi model olarak oluşturulmuştur. Bu sistemin oluşturulması bütünleşik bakım planı oluşturmak isteyen işletmeler tarafından yol gösterici olarak kullanılabilir. Oluşturulan sistem bakım faaliyetlerinin düzenli ve etkili şekilde yürütülmesine olanak sağlayacaktır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

İşletmelerdeki üretim ekipmanlarının beklenmedik zamanlardaki bozulmalarının önüne geçmek ve bu arızaların sebep olduğu üretim kayıplarını ortadan kaldırmak ancak etkili ve sistematik şekilde yapılacak bakım aktiviteleriyle mümkündür. Bu da doğrudan bir bakım sisteminin oluşturulması ve etkin biçimde yürütülmesini gerekli kılar.

Bakım planlaması ve güvenilirlik üretim yönetimi açısından iki yönden çok önemlidir. Birinci olarak; Toplam Kalite Yönetimini uygulamak için makinelerin nasıl ve niçin arıza verdiklerini anlaşılması gerekmektedir. Güvenilirlik kalitenin ana unsurlarından biridir. Etkin bir kalite sisteminin tasarlanması için arıza rutinlerinin tesadüfiliği ve randomluğu araştırılmalıdır. İkinci olarak verimli bir bakım planlaması için gerekli malzeme ve işgücü ihtiyacının tahmin edilmesi ve yönetilmesi gereklidir. Makine karmaşıklığının artması, yedek parça ve bakım malzemeleri çeşidinin artması, rekabetçi piyasa koşullarında ayakta kalabilmek için daha yüksek üretim kalitesi sağlama zorunluluğu gibi gerekçeler bakımın sistemli bir şekilde yürütülmesini gerekli kılmaktadır.

Bakım faaliyetleri üretim sistemlerinin en önemli parçalarından biridir. Dolayısıyla bakım çalışmalarında yapılan her iyileştirme tüm sistemin iyileşmesini sağlayacaktır. Bunu başarmak için bakım çalışmalarının bir sistem oluşturularak yürütülmesi ve bunun içinde bütünleşik ve güvenilirlik tabanlı bir planın oluşturulması kaçınılmazdır.

Bu çalışma ile bakım ve güvenilirliğin iç içe olması gerektiği vurgulanmış, güvenilirlik tabanlı bakım planı ve bütünleşik bakım sistemi oluşturmak isteyen

firmalar için yol gösterici nitelikte adımlar ve neler yapılması gerektiği araştırılmıştır. Bu çerçevede Bakım Onarım Takip Bilgi Sistemi temel bir model olarak geliştirmiştir.

Oluşturulan adımlar kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir. Ayrıca hataların olasılıkları ve nedenleri hakkında bilgi, yöneticiye veya diğer çalışanlara karar verme noktasında destek, sistemin etkili analizine olanak sağlayacaktır.

Bu çalışma sadece imalat sanayine yönelik olmayıp bakım-onarımın hayati önem arz ettiği diğer sektörlerde de uygulanabilir:

- Havayolu şirketlerinde maliyetlerin büyük bir kısmını uçakların bakımları oluşturmaktadır. Uçak periyodik bakımlarının planlanması ve maliyet-kazanç dengesinin kurulması çok önemlidir.
- Tam teşekküllü hastanelerde kullanılan tıbbi teçhizatların arıza riskleri hayati tehlike arz etmektedir.
- Belediyelerin toplu taşımacılıkta kullandığı araçların periyodik ve arıza bakımları yapılırken, ulaştırma hizmetinin aksamaması ve hizmetten çekilen araçların ikamesi gereklidir.

Gelecek Çalışmalar

Bu çalışma ışığında, gelecekte tüm ayrıntıları oluşturulmuş bir bakım bilgi sistemi tasarlanması ve yazılımının oluşturulması sağlanabilir. Ayrıca çalışmanın devamı niteliğinde maliyet tabanlı matematiksel model oluşturulması ile çalışmanın çok daha sağlam temellere oturtulması sağlanabilir. Bu çalışma, konuyu geniş bir bakış açısı ile irdelemesi bakımından, ileride gerçekleştirilebilecek benzer bilimsel çalışmalara başlangıç noktası olabilecektir.

Çalışma içerisinde MTTF parametrelerinin dağılım ifadeleri üstel dağılıma benzetilmiştir. Bu benzetmenin nedeni; hata yoğunluk fonksiyonu, arıza hızı fonksiyonu, güvenilirlik gibi fonksiyonların hesaplanmasının ve anlaşılmasının kolay olması idi. İleriki çalışmalarda üssel dağılım yerine arıza hızının her durumu için kullanılabilen, güvenilirlik analizleri modelleri için esnek ve kullanışlı bir dağılım olan weibull dağılım kullanılabilir veya parametrelerin işaret ettiği dağılımlar tercih edilebilir.

Çalışmada karar alma sürecinde eldeki verilerin değerlendirilmesi ve önem sıralaması açısından kullanışlı bir teknik olan Pareto Analizi tekniği tercih edilmiştir. İleriki çalışmalarda bu teknik yerine başka karar alma teknikleri de kullanılabilir.

Yapılan bu çalışmanın devamı olarak önerilen Bakım Onarım Takip Bilgi Sisteminin ayrıntılı olarak modüllerinin geliştirilmesi ve yazılımının oluşturulması sağlanabilir. Çalışmayı diğerlerinden ayıran analizlerin oluşturulacak sisteme entegre edilmesi sağlanabilir. Makinelerin izlenmesi, arızaların tahmin edilmesi, bakım çizelgelemenin nasıl olması gerektiği ve üretim planlama ile bakım çalışmalarının nasıl birleştirilebileceği konusundan hareketle yeni modüller tasarlanabilir ve modüllerin çalışma düzenleri ayrıntılı olarak açıklanabilir.

Gelecekteki çalışmalarda maliyet konusunun üzerine odaklanılabilir ve maliyet tabanlı matematiksel modeller oluşturulabilir. Periyodik bakım maliyeti, ani arızaların maliyeti, bakım personelinin maliyeti, yedek parçaların stok maliyeti, acil parça maliyeti gibi maliyetleri içeren ve maliyeti minimize eden matematiksel formülasyonlar oluşturulabilir. Böylelikle bakım yapmak ve yapmamak arasındaki maliyet dengesini kuran formüller oluşturulabilir.

Sonraki çalışmalarda çizelgeleme algoritmaları kullanılarak bakım yapma zamanları tespit edilebilir ve üretim planlama ile bütünleştirilerek bakım ve üretim faaliyetleri arasındaki ilişki kurulabilir. Optimizasyon tekniklerinin ve yöneylem araştırması tekniklerinin sistem içerisinde kullanılması ileriki çalışmalarda gerçekleştirilebilir.

Bu çalışma, ileride yapılabilecek birçok çalışmaya başlangıç noktası olarak yol gösterebilecektir. Geniş bir perspektif sunan bu çalışmanın devamında yukarıda bahsedilen noktalardan hareketle başka bilimsel çalışmalar oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

1. P. Y. L. Tu, R. Yam, P. Tse, A. O. W. Sun, *Int J Adv Manuf Technol*, **17**, 692(2001).
2. H. Yanařma, Toplam Üretken(Verimli) Bakım Yönetimi ve Çopikas'a Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1999.
3. A. Görener, V. Z. Yenen, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **11**, 47(2007).
4. J. A. Leflar, *Practical Tpm: Succesful Equipment Management at Agilent Technologies*, Productivity Press, Portland, 2001.
5. F. T. S. Chan, H. C. W. Lau, R. W. L. Ip, H. K. Chan and S. Kong, *International Journal of Production Economics*, **95**, 71(2005).
6. E. Nas, T.M.M.O.B. Metalurji Mühendisleri Odası, **126**, 20(2001).
7. Ö. Ö. Arı, O. Elmacı, Y. Arı, *Dumlupınar Üniversitesi Denizli Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, 261(2003).
8. M. Mete, E. Manısalı, *Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği* 27. Ulusal Kongresi İzmir, 1116(2007).
9. Wireman, *World Class Maintenance Management*, Industrial Press, New York, 1990.
10. P. Tse, D. Atherton, *Transactions of the ASME: Journal of Vibration and Acoustics*, **121**, 355(1999).
11. M. T. Liberatore, A. C. Stylianou, *Information and Management*, **27**, 221(1994).
12. T. L. Saaty, *Multicriteria Decision Making, The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publication, USA, 1990.
13. M. A. P. Davies, *Journal of the Operational Research Society*, **45**, 47(1994).
14. C. Kocourek, *Proceedings of the IASTED International Conference, Applied Modeling and Simulation*. Vancouver, 108(1993).
15. A. R. Hurson, S. Pakzad, B. Lin, *Microcomputers in Civil Engineering*, **9**, 129(1994).
16. C. P. Schrunder, J. E. Gallertly, J. R. Bicheno, *Expert System*, **11**, 3(1994).

17. V. M. R. Tummala, W. Ellis, IEEE Transaction on Reliability, **35**, 212(1986).
18. M. Rao, C. Theisen, J. T. Luxhoj, The Proceedings of 5th IEEE International Symposium on Intelligent Control, **2**, 859(1990).
19. X. Zhu, International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management, **5**, 241(1996).
20. Y. L. Tu, E. H. H. Yeung, Int J Adv Manuf Technol, **13**, 453(1997).
21. P. Tse, K. W. Tam, Proceedings of 1999 International Conference on Advanced Manufacturing Technology '99, 996(1999).
22. P. Tse, D. Wang, D. Atherton, Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence, **9**, 487(1996).
23. R. C. M. Yam, P. Tse, N. Li, Y. L. Tu, Int J Adv Manuf Technol, **17**,383(2001).
24. T. Cebesoy, Türkiye 10. Kömür Kongresi Zonguldak, 1(1996).
25. H. Watanabe, Annual Reliability And Maintainability Symposium, 476(1993).
26. L. J. Hollick ve G. N. Nelson, Annual Reliability And Maintainability Symposium, 11(1995).
27. N. Cotaina, et al, Study Of Existing Reliability Centered Maintenance (Rcm) Approaches Used In Different Industries, Madrid, 2000.
28. H. A. Gabbar, H. Yamashita, K. Suzuki, Y. Shimada, Journal of Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, **19**, 449(2003).
29. Y. Arı, R.Ünal, Dumlupınar Üniversitesi Denizli Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, 231(2003).
30. İ. Karaoğlan, F. Altıparmak ve B. Dengiz, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., **22**, 181(2007).
31. G. Gençyılmaz., Planlı Bakım Onarım Semineri SEGEM, 17(1987).
32. C. R. Cassady, E. Kutanoğlu, IEEE Transactions On Reliability, **54**, 2(2005)
33. E. Gerede, Mühendis ve Makine, **48**, 22(2007).
34. R.Dekker , Reliability Engineering and System Safety, 51, 229(1996).
35. M. Mete, E. Manısalı, Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi İzmir, 1213(2007).

36. S. Çebi, M. Çelik, C. Kahraman, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, **3**, 17(2008).
37. J. Moubray, Reliability-centered Maintenance, Industrial Press Inc., New York, 2001.
38. A. Kelly, Strategik Maintenance Planning, Butterworth-Heinemann, USA, 2006.
39. A. Kelly, Maintenance Systems and Documentation, Butterworth-Heinemann, USA, 2006.
40. A. Esin, Mühendis ve Makine, **45**, 16(2004).
41. A. Özdemir, Güvenilirlik Analizi ve Elektrik Enerji Sistemlerine Uygulaması, (1996).
42. M. A. Danacı, Güvenilirlik Analizinde Tamamlanmış Veriler İçin Weibull Dağılımının Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2005.
43. B. S. Dhillon, “Maintainability, Maintenance, And Reliability For Engineers”, Crc Pres, Boca Raton, 2006.
44. H. Gökçen, Yönetim Bilgi Sistemleri Analiz ve Tasarım Perspektifi, Epi Yayıncılık, Ankara, 2002.