İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM VE BİR ENDÜSTRİYEL UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem ÜNAL

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

Ocak 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM VE BİR ENDÜSTRİYEL UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gizem ÜNAL
507051117

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sıtkı GÖZLÜ
Prof. Dr. Nahit SERARSLAN

Ocak 2009

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteğini ve çok değerli yorumlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK'a sonsuz teşekkür ederim.

Uygulama çalışmam için benden yardımlarını esirgemeyen Noyan BUZCU, Ali KİPRİ ve Faikcan ALTIPARMAK başta olmak üzere tüm Akçansa çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında her ihtiyacım olduğunda yanımda olan tüm dostlarıma teşekkür ederim. Tez çalışmalarım süresince bana gösterdikleri anlayış ve destek için tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme teşekkür ederim.

Ocak 2009 Gizem Ünal

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. BAKIM YÖNETİMİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR **3**
2.1 Bakım Yönetimi Kapsamındaki Tanımlar 3
2.1.1 Arıza 3
2.1.2 Bakım 3
2.1.3 Düzeltici bakım 4
2.1.4 Onarım/tamir 4
2.1.5 Önleyici bakım 4
2.1.6 Koruyucu bakım (Periyodik bakım) 4
2.1.7 Kestirimci bakım 4
2.1.8 Revizyon 4
2.1.9 Üretken bakım 5
2.1.10 Güvenilirlik 5
2.1.11 Bakım kolaylığı 5
2.1.12 Tasarım-ürün ömür çevrimi maliyeti 5
2.1.13 Bakım önlemi 5
2.1.14 Bakım yapılabilirliği geliştirme 5
2.1.15 Kullanılabilirlik 5
2.1.16 Toplam üretken bakım 6
2.1.17 Otonom bakım 6
2.2 Bakım Yönetiminin İşlevi 6
2.3 İşletmelerdeki Bakım-Onarım Politikaları 7
2.3.1 Genel bilgi 7
2.3.2 Bakım politikalarının belirlenmesindeki etmenler 8
2.3.3 İşletmelerin bakım politikası bileşenleri 9
3. BAKIM YAKLAŞIMLARI **13**
3.1 Bakım Yönetimi Yaklaşımlarının Tarihçesi 13
3.1.1 Genel bilgi 13
3.1.2 I. Nesil 14
3.1.3 II. Nesil 14
3.1.4 III. Nesil 15
3.2 Bakım Yaklaşımlarının Sınıflandırılması 17
3.3 Plansız (Düzeltici) Bakım (CM: Corrective Maintenance) 18
3.4 Planlı (Önleyici) Bakım (Preventive Maintenance) 19
3.4.1 Genel bilgi 19
3.4.2 Koruyucu bakım 20
3.4.2.1 Küvet eğrisi 23
3.4.2.2 Bakım maliyetleri ve ekonomik bakım düzeyi 25

3.4.3 Kestirimci bakım (Predictive maintenance) 26
3.4.3.1 Kestirimci bakımın aşamaları 29
3.4.3.2 Kestirimci bakım uygulamalarında izlenecek yöntem 32
3.4.3.3 Kestirimci bakımın ekonomik yararı 32
3.5 Üretken Bakım (Productive Maintenance – PM) 34
3.5.1 Genel bilgi 34
3.5.2 Üretken bakımın amaçları 37
3.5.3 On altı büyük kayıp 38
3.5.3.1 Ekipmandan kaynaklanan 8 büyük kayıp 39
3.5.3.2 İş gücünden kaynaklanan 5 büyük kayıp 42
3.5.3.3 Malzemeden kaynaklanan 3 büyük kayıp 43
3.6 Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance - TPM) 43
3.6.1 Genel bilgi 43
3.6.2 TPM'nin beş temel faaliyeti 47
3.6.3 TPM'i geliştirmenin 12 adımı 48
3.6.4 Ekipman verimliliğinin hesabı 50
3.6.4.1 Kullanılabilirlik oranı 52
3.6.4.2 Performans oranı 54
3.6.4.3 Kaliteli ürün oranı 55
3.6.4.4 OEE ideal değerleri 56
4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİ 59
4.1 Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sistemleri Tanımı 59
4.2 CMMS İşlevleri ve Yararları 61
4.3 CMMS Uygulama Yöntemleri 65
4.3.1 Genel bilgi 65
4.3.2 Hızlı uygulama 65
4.3.3 Tipik uygulama 66
4.3.4 Tam uygulama 66
4.3.4.1 Tam uygulama proje organizasyonu 67
4.3.4.2 Danışman firma proje lideri 68
4.3.4.3 Uygulama danışmanı (Danışman firma) 68
4.3.4.4 Teknik danışman (Danışman firma) 69
4.3.4.5 Firma proje lideri 69
4.3.4.6 Firma sistem yöneticisi 69
4.3.4.7 Firma anahtar kullanıcıları 69
4.3.5 Tam uygulama proje adımlarının incelenmesi 70
5. GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM (RCM) 73
5.1 Genel Bilgi 73
5.2 Güvenilirlik Merkezli Bakımın Gelişimi 73
5.3 Güvenilirlik Merkezli Bakımın (RCM) Tanımı 75
5.4 Güvenilirlik Merkezli Bakım ile İlgili Literatür Araştırması 76
5.5 Güvenilirlik Merkezli Bakımda Yedi Temel Soru 78
5.6 Güvenilirlik Merkezli Bakımın Temel Adımları 79
5.6.1 Sistemlerin seçilmesi ve tanımlanması 79
5.6.2 İşlevler ve performans standartları 79
5.6.3 İşlevsel arızalar 81
5.6.4 Arızaların modları 82
5.6.5 Arıza etkileri 82
5.6.6 Arıza sonuçları 83
5.6.7 Bakım işlemlerinin belirlenmesi 84

5.6.7.1 Proaktif işlemler 85
5.6.7.2 Varsayılan eylemler (Default actions) 88
5.6.8 RCM Görev Seçim Süreci 89
5.6.9 Bakım aralıklarının belirlenmesi 90
5.6.10 Bakım programının uygulamaya geçirilmesi ve optimizasyonu....90
6. UYGULAMA 93
6.1 Genel Bilgi 93
6.2 Akçansa Büyükçekmece Fabrikası....93
6.3 Akçansa Çimento Üretimi 94
6.4 Akçansa'da Bakım Faaliyetleri 95
6.5 Bakım İşleri Akım Şeması 96
6.6 Akçansa'da Koruyucu Bakım 98
6.7 Akçansa'da Kestirimci Bakım 100
6.7.1 Vibrasyon analizi....100
6.7.2 Yağ analizi 102
6.8 Revizyon 103
6.9 Öneriler 103
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME....105
KAYNAKLAR 109

KISALTMALAR

CM : Düzeltici Bakım (Corrective Maintenance)
CMMS : Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemi (Computerised Maintenance Management System)
IRCMA : Akıllı Güvenilirlik Merkezli Bakım Analizi (Intelligent Reliability Centered Maintenance)
OEE : Genel Ekipman Verimliliği (Overall Equipment Efficency)
PM : Üretken Bakım (Productive Maintenance)
RCM : Güvenilirlik Merkezli Bakım (Reliability Centered Maintenance)
TPM : Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Ekipman yaşam dönemlerine göre arıza nedenleri ve gerekli önlemler 24
Çizelge 3.2 : TPM ile PM arasındaki farklar 37
Çizelge 3.3 : İşletme için verimliliği etkileyen 16 büyük kayıp 39
Çizelge 3.4 : TPM'i geliştirmenin 12 adımı 49
Çizelge 4.1 : CMMS proje planının temel adımları 71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Endüstride bakımın önemi [10] 13
Şekil 3.2 : Bakımda değişen yaklaşımlar ve yöntemler[10] 16
Şekil 3.3 : Bakım yöntemlerinin sınıflandırılması [1] 17
Şekil 3.4 : Bozulma oranının zamana gore değişimi (Küvet Eğrisi) 24
Şekil 3.5 : Bozulma oranı şematik görünüşü [15] 25
Şekil 3.6 : Ekonomik bakım düzeyinin saptanması 26
Şekil 3.7 : Kestirimci bakım grafiği [1] 27
Şekil 3.8 : Arızi bakım yaklaşımı ile ekonomik sonuçlar [1] 33
Şekil 3.9 : Periyodik bakım yaklaşımı ile ekonomik sonuçlar [1] 33
Şekil 3.10 : Kestirimci bakım yaklaşımı ile ekonomik sonuçlar [1] 34
Şekil 3.11 : Bakım sistemleri arasındaki ilişki 36
Şekil 3.12 : Üretim sırasında arıza nedeniyle oluşabilecek duruşlar [22] 38
Şekil 3.13 : Girdi ve çıktı faaliyetleri arasındaki ilişkiler [1] 50
Şekil 3.14 : Ekipman verimliliği [1] 52
Şekil 3.15 : Genel ekipman verimliliğinin (OEE) hesaplanması [1] 58
Şekil 4.1 : Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi proje organizasyonu [7] 67
Şekil 5.1 : RCM süreci [7] 76
Şekil 5.2 : RCM süreci [26] 80
Şekil 5.3 : RCM karar diyagramı örneği 85
Şekil 5.4 : Geleneksel arıza görüşü 86
Şekil 5.5 : Arıza olasılığının altı farklı şekli [11] 86
Şekil 6.1 : Çimento üretim şeması 95
Şekil 6.2 : Bakım işleri akım şeması 96
Şekil 6.3 : Dahili iş emri oluşturma 97
Şekil 6.4 : Harici iş emri oluşturma 97
Şekil 6.5 : SAP ekran görüntüsü 98
Şekil 6.6 : Tesis akım şeması örneği 99
Şekil 6.7 : Koruyucu bakım takvimi 99
Şekil 6.8 : Arıza öncesi alınan ölçüm 101
Şekil 6.9 : Bakım sonrası alınan ölçüm 102
Şekil 6.10 : Yağ analizi formu 102

GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM VE BİR ENDÜSTRİYEL UYGULAMA

ÖZET

Son yıllarda bakım konusuna verilen önem gittikçe artmıştır. Değişen sanayi koşulları işletmelerdeki bakım anlayışının da değişmesine neden olmuştur. Bakımın ilk ortayan çıkışı olan düzeltici bakımda; ekipmana, arızadan veya performanstaki kötü gidişten sonra daha büyük kayıplara yol açmasının engellenmesi için bakım uygulanmaktadır.

Düzeltici bakım zamanla yerini planlı bakıma bırakmıştır. Planlı bakımın koruyucu bakım ve kestirimci bakım olarak üzere iki farklı çeşidi bulunmaktadır. Koruyucu bakım periyodik olarak yapılan tüm onarım, yağlama ve yenileme işlemlerini, kestirimci bakım ise ölçümler ve analizler sonucunda arıza olasılığı olan ekipmanların bakım işlerini içerir. Planlı bakımı, üretken bakım ve toplam üretken bakım takip etmektedir. Toplam üretken bakım, bakım uygulamalarına tüm çalışanların katılımını sağlayan, makina operatörlerinin kendi ekipmanlarına bakım yapmasını gerektiren, sıfır arıza hedefiyle ekipman toplam etkinliğinin arttırılmasına yönelik uygulanan bir bakım yaklaşımıdır. Bilgisayar destekli bakım sistemleri bu bakım yaklaşımlarının bilgisayar ile planlanması, yürütülmesi, izlenmesi ve kontrolünü sağlamaktadır.

Bu çalışmanın temelini oluşturan güvenilirlik merkezli bakım, herhangi bir fiziksel varlığın kendi çalışma sistemi içerisinde bakım gereksinimlerinin belirlenmesini sağlayan süreçtir. Arıza modları ve etkileri analizi ile gerekli görülen bakım işlemleri ve aralıkları belirlenebilir. Bu çalışmada öncelikle güvenilirlik merkezli bakımın tarihsel gelişimi ve kullanım alanları anlatılmaktadır. İkinci bölümde güvenilirlik merkezli bakım ile ilgili literatür araştırması verilmektedir. Bu bakım türünün amaçları ve uygulama adımları detaylı olarak son bölümde anlatılmaktadır.

Bakımın son derece önem kazandığı endüstri dünyasında pek çok çeşidi olan bakım yaklaşımlarından en uygununun seçilerek endüstriye uyumu sağlanmalı ve uygulanmalıdır. Burada en önemli ölçüt maliyet olup, kâr amacı ile çelişmeyen bir bakım politikası uygulanmalıdır.

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE AND AN INDUSTRIAL APPLICATION

SUMMARY

Maintenance is becoming an increasingly important subject in industry. The varying conditions in industrial processes have changed the maintenance concept for enterprises. The first generation of maintenance - corrective maintenance can be defined as the actions to be taken when an item has failed or worn out, in order to bring it back to working order.

Eventually, corrective maintenance has left its place to preventive maintenance. Preventive maintenance has two different types: periodic maintenance and predictive maintenance. Periodic maintenance covers all the repair, lubrication and renovation actions, while predictive maintenance uses measurements and analysis results to maintain equipment that is likely to fail. Preventive maintenance has been followed by productive maintenance and total productive maintenance. Total productive maintenance involves all employees in maintenance applications, requires autonomous maintenance by operators and targets zero failure. Computerised maintenance systems help plan, execute, and control all of these approaches with computers.

The basis for this study, reliability centered maintenance is a process in which any physical asset's maintenance needs are evaluated in its own system. With failure mode and effect analysis, necessary maintenance actions and intervals can be determined. In this study, the historical overview and application areas of reliability centered maintenance have been described. In the second section, related literature review has been covered. The goals and application steps have been identified in the last section.

Maintenance is gaining more significance every day and the most efficient maintenance strategy should be chosen to meet the industrial needs. Here, the most important criterion is cost, a maintenance strstegy that does not contradict with profits should be applied.

1. GİRİŞ

İmalat endüstrisinde temel amaç, müşteri isteklerinin zamanında ve istenen kalitede yerine getirilmesi sonucu müşteri hoşnutluğunun sağlanmasıdır. Teknolojinin ve pazar ortamının artması ile firmalar arası rekabet artmakta, bu da firmalar için ayakta kalmayı gün geçtikçe zorlaştırmaktadır. Bu nedenle müşteri hoşnutluğu için her firma çeşitli üretim yöntemlerini, kendi üretim sistemi ve organizasyonlarına uyumlu duruma getirmektedir.

21. yüzyılda şirketlerin dünya piyasasında var olan yerini daha da güçlendirmesi ve sürdürmesi, her konuda olduğu gibi bakım çalışmalarında da yüksek teknolojiyi kullanması ve takım çalışmalarını geliştirmesi ile olanaklıdır. İşletme kârlılığının sürmesi için üretimin aksamaması, üretim kalitesinin düşmemesi, üretimde kayıpların ve bu kayıplarla birlikte maliyetlerin artmaması için, günümüz teknoloji ve otomasyon düzeyinin artmasıyla bakımın, bakım için gereken insangücünün, eğitim becerisinin, motivasyonun ve organizasyonunun uygun koşullarda uygulanması önem arz etmektedir.

Bakım yönetim sisteminin temel hedefi; işletme bünyesinde yer alan kaynakların (insan, tesis, makina, donanım, malzeme, para) en etkin ve verimli şekilde kullanılmasını sağlamak, bakım personelinin çalışma verimini arttırmak ve beklenmeyen arızaları sıfıra yaklaştırmaktır.

Ekipmanlarda malzeme yorulması, hatalı imalat/montaj, operasyon etkisi vb. nedenlerle çeşitli arızalar meydana gelmektedir. Eğer böyle bir arıza çok kritik bir ekipmanda ortaya çıkarsa, arıza giderilene kadar üretimin durması gerekir. Bu durum üretimin aralıksız sürdüğü işletmelerde çok daha önemlidir. Bu nedenle ani arızaları engellemek için, çeşitli bakım yöntemleri uygulanmaktadır.

Endüstrilerdeki teknolojik gelişmelerle kullanılan ekipmanların yapısı karmaşıklaşmış ve dolayısıyla uygulanan bakım yöntemleri de değişim göstermek zorunda kalmıştır. Bakımda meydana gelen bu değişimler, endüstrilerdeki en üst

düzeyden işçi düzeyine kadar tüm personeli etkilemekte ve herkesin buna uyum sağlaması gerekmektedir.

Bu çalışmanın konu başlığı olan "Güvenilirlik Merkezli Bakım ve Bir Endüstriyel Uygulama" adı altında, bakım konusunda ulaşılabilecek pek çok alt-başlık incelenmiştir. Çalışmanın birinci bölümünde bakım yönetimi ile ilgili temel kavramlar üzerinde durulmuş, bakım işlevi hakkında bilgi verilmiş ve işletmelerin bakım politikası anlatılmıştır. İkinci kısımda ise bakım yaklaşımlarının tarihsel gelişimi ve bu gelişim sonucu ortaya çıkan bakım yaklaşım çeşitleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bir sonraki bölüm olan üçüncü bölümde ise Bilgisayarlı Bakım Yönetimi (CMMS) hakkında araştırma yapılıp bu sistemin işletmelere yararları ve fonksiyonları ile proje adımları ayrıntılandırılmıştır. Dördüncü bölümde yeni bir teknoloji olan Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM) ile ilgili ayrıntılı bir araştırma yapılarak literatür çalışmalarına yer verilmiş, süreç adımları anlatılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Son bölümde Akçansa Büyükçekmece Fabrikası'nın bakım stratejisi detaylı olarak incelenmiş; koruyucu, kestirimci ve düzeltici bakım yöntemlerinin uygulanışı ve sonuçları analiz edilmiştir.

2. BAKIM YÖNETİMİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Bakım Yönetimi Kapsamındaki Tanımlar

2.1.1 Arıza

Engel olunamayan bir nedenle sistemin durması, üretim hızının ve/veya kalitesinin düşmesidir.

2.1.2 Bakım

Üretim, dar anlamda, makina, enerji, insan ve malzeme kullanımı yoluyla bir fiziksel varlığın yapımı veya bir hizmetin ortaya konulması olarak tanımlanmaktadır. İşletmelerde üretimin sağlıklı bir şekilde sürmesi, işletmedeki ekipmanların sorunsuz bir şekilde çalışmasına bağlıdır. Ekipmanlar kullanıldıkça zamanla çeşitli yıpranmalara uğrarlar. Ekipmanlar, yıpranmaları sonucunda en uygun işlevlerinden uzaklaşırlar ve bunun sonucunda ya verimliliklerini yitirirler ya da tümüyle çalışamaz duruma gelirler. Bunun sonucunda üretim hattında aksamalar ve çeşitli zararlar ortaya çıkar. Bu aksamaların ortaya çıkmadan veya ortaya çıktıktan sonra düzeltilmesine yönelik çalışmaların bütününe *bakım* denir [1, 2].

Yukarıda yer alan bakım tanımından farklı olarak bakım için başka tanımlamalar da yapılmıştır. Bu tanımları aşağıdaki şekillerde yapabiliriz:

1. Üretim sisteminin plan ve programlarına uygun olarak çalışmasını sağlayan, istenen çalışma düzeyinde kalmasını kontrol altında tutan bir yürütme ve kontrol işlevidir [1].
2. Bir sistemin, işlevlerini istenilen bir düzeyde yerine getirebilmesi için gerçekleştirilen her çeşit onarım, yenileme, muayene vb. faaliyetlerdir[1].
3. Tesis ve donanımın üretim ve kalite performansını istenen düzeyde tutabilmek, eski durumuna getirebilmek için gerçekleştirilen işlerin tümüdür [1].
4. En dar anlamda, bir sistemdeki makina ve donanımın düzenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için yapılan tüm faaliyetleri içerir [2].

2.1.3 Düzeltici bakım

Düzeltici bakımda ekipman, arıza oluşana kadar işlevini görmeyi sürdürür [2]. Bir tesis veya donanımın durmasına veya üretim kalitesinin kabul edilebilir sınırlar dışına çıkmasına neden olan arıza gerekçelerinin belirlenmesi ve giderilme yollarının bulunmasıdır [3].

2.1.4 Onarım/tamir

Arıza oluştuktan sonra yapılan daha büyük kayıplara yol açmamak için derhal uygulanan çalışmalara onarım veya tamir denmektedir [1].

2.1.5 Önleyici bakım

Tesis ve donanımın belirli bir programa göre arıza oluşma koşulu aranmaksızın yapılan muayene, yağlama, ayarlama, yenileme, revizyon yolları ile kullanılabilirlik süresinin arttırılması çalışmalarıdır. Bu tür zaman esaslı çalışmalar *Planlı Bakım* olarak da adlandırılmaktadır [1]. Önleyici bakımda seçilen öğenin var olan durumuna bakılmaksızın, belirlenen bakım adımları, belirlenen zamanlarda gerçekleştirilir [4]. Bu bakım adımları, koruyucu bakımı ve kestirimci bakımı da içerir [2].

2.1.6 Koruyucu bakım (Periyodik bakım)

İmalatçı firmalar veya yapılan incelemeler sonucu belirlenen bir bakım programının periyodik olarak uygulanması, bakım anlarında gerekli onarım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesidir. *Sistematik Bakım* olarak da adlandırılabilmektedir. Bu bakım çeşidi, önleyici bakım kavramından doğmuştur [2].

2.1.7 Kestirimci bakım

Gereğinde özel aygıtlar kullanılarak yapılan periyodik gözlem, muayene ve kayıt izleme sistemiyle makina, parça ve donanımın bakım-onarım gereksinimlerinin belirlenerek en uygun zamanda bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesidir. Sistem incelenerek, potansiyel arıza durumlarında bakım faaliyetleri devreye alınır [1, 5].

2.1.8 Revizyon

Bir tesis veya donanımın periyodik olarak ve kapsamlı bir şekilde muayenesi, bakımı ve onarımı faaliyetlerini içermektedir. Bu tür bakıma *Genel Bakım* adı da verilmektedir [1].

2.1.9 Üretken bakım

Güvenilirliği ve bakım kolaylığını sağlamak için önleyici, kestirimci ve bakım yapılabilirliği geliştirici teknikleri, tasarım-ürün ömür çevrimi maliyeti ilkeleri doğrultusunda yaratıcı bir şekilde birleştiren sistematik bakım faaliyetleridir [1].

2.1.10 Güvenilirlik

Bir sistemin veya parçanın belirli bir zaman periyodu için belirli koşullar altında hatasız çalışma olasılığıdır [1]. Yüksek güvenilirlik, ekipmanda oluşan arızaların frekanslarının ve enerji israflarının azaltılmasını sağlar [4].

2.1.11 Bakım kolaylığı

Tesis ve donanımın bakım-onarım faaliyetlerinin rahatlıkla ve hızlı bir şekilde uygulanabilmesi için uygun tasarımlara sahip olma özelliğidir [6].

2.1.12 Tasarım-ürün ömür çevrimi maliyeti

Bir ürünün tasarım aşamasından, teknolojik ya da ekonomik açıdan kullanılmaz duruma gelene dek geçen ömrü içinde neden olduğu maliyetlerin toplamıdır. Bunun içerisinde tasarım, işletme, bakım ve onarım vb. maliyet kalemlerinin tümü yer alır [1, 6].

2.1.13 Bakım önlemi

Bakım aşamasında ekonomik ürün ömür çevrimi maliyetinin elde edilebilmesi için bakım yapılabilir ürünün geliştirilmesini amaçlayan çalışmalardır. Bakım önlemi; arızalanmayan, bakımı kolay ve güvenli bir ekipman tasarımı yapmaktır [6].

2.1.14 Bakım yapılabilirliği geliştirme

Arızaları önlemek ve bakım kolaylığını sağlamak için yapılan her türlü onarımlar ve değişikliklerdir [6].

2.1.15 Kullanılabilirlik

İki duruş arasındaki üretim süresinin, yine üretim süresi ile duruş süresi toplamına oranıdır [1, 6].

$$K = ÜS / (ÜS + DS) \quad \textbf{(2.1)}$$

K: Kullanılabilirlik (% olarak)

ÜS: Üretim süresi

DS: Duruş süresi

2.1.16 Toplam üretken bakım

Bakım ve üretim birimleri arasında işbirliği kuran, bakım uygulamalarına tüm çalışanların katılımını sağlayan, makina operatörlerinin kendi ekipmanlarına bakım yapmasını gerektiren, arızaların tümüyle önlenmesiyle makina toplam etkinliğinin arttırılmasına yönelik uygulanan bir bakım yaklaşımıdır [2].

2.1.17 Otonom bakım

Otonom bakım, operatörlerin bakım bölümünden bağımsız olarak kendi ekipmanlarına yaptıkları bakımdır. Toplam üretken bakım uygulamasında operatörler gerekli eğitimleri aldıktan sonra ekipmanla ilgili tüm kontrolleri, ayarları, temizliği ve bunun gibi bazı işleri yaparlar. Tipik otonom bakımın etkinlikleri; günlük kontroller, yağlama, basit onarımlar, anormallik tanısı ve basit ayarlardır [1].

2.2 Bakım Yönetiminin İşlevi

Üretilen ürünün bir mal ya da hizmet olması önemsenmeksizin tüm işletmeler, çeşitli bakım faaliyetlerini yapmak zorundadır. Bakım faaliyetleri, her tipteki işletme için gereklidir.

Üretim sektöründe kapasite kaybını önlemek, hizmet sektöründe ise hem kapasite kaybını önlemek hem de daha öncelikli olarak üretilen hizmetin kalitesini düşürmemek için bakım faaliyetleri yapılmalıdır [1].

Bir işletmede oluşan arızalar, üretimin durması, üretim hatalarının ortaya çıkması ve/veya artması, teslimatların zamanında yapılamaması sonucu gecikmesi ve bunların sonucu olarak birbiri ile bağlantılı olan işletmeye parasal kayıp, müşteri kaybı ve prestij kaybı gibi sonuçlarla zarar vermektedir. Bu sonuçlara bir tek makinada oluşan arıza neden olabileceği gibi, bu sıkıntılar tüm sistemden de kaynaklanabilmektedir [2].

Bakım yönetiminin işlevleri aşağıdaki şekilde maddeler halinde sıralanabilir [1, 5]:

1. Fiziksel sistemin (tesis, makina, donanım, binalar vb.) yararlı ömrünü uzatmak.
2. Üretim araçlarının optimum çalışma düzeylerine ulaşmalarını sağlamak.
3. Yıpranmayı ve eskimeyi en düşük düzeye indirerek işletmenin değerini korumak.

4. Ürünün kalite düzeyini koruyacak veya arttıracak şekilde işletme olanaklarının kaliteli olmalarını sağlamak.
5. Makinaların ve donanımın üretim için emre hazır olma sürelerini en üst düzeyde tutmak.
6. Acil durumlar için bulundurulan tüm yedek üniteler, kurtarma donanımı ve yangın söndürme tesisatı gibi donanımların her an çalışır olmaya hazır bulunmasını sağlamak.
7. Tüm bu faaliyetlerin uzun dönemde en düşük maliyetle gerçekleşmesini sağlamak.

Bakım yönetiminin yukarıdaki işlevlerinin yerine getirilmemesi durumunda aşağıdaki sorunların yaşanması olasıdır [1, 2]:

1. Arızaların yarattığı duruşlardan kaynaklanan maliyetler.
2. Arızalardan dolayı üretimin aksaması sonucu ürün teslim tarihlerine uyulamamasından kaynaklanan sorunlar.
3. Üretim hatalarından dolayı üretimi yeniden programlama zorunluluğu.
4. Üretim akışındaki aksaklıklardan dolayı ekipmanların tam kapasiteyle ve verimle çalışamamasından doğan kayıplar (makinaların ve onları çalıştıran operatörlerin boş kalmaları, işçilik ve imalat genel masraflarının artması vb.)
5. Verimsiz ve hatalı çalışan (yeterince bakım-onarım yapılmamış) tesis ve donanımda işlenen ürünlerin kalitesindeki düzensizlik, ıskarta oranları, üretim hızındaki düşüşler, müşteriden geri dönen siparişler, tesis ve donanımda oluşan enerji vb. kayıplar.
6. Bakım-onarım faaliyetlerinin planlı ve etkinlikle uygulanamamasından kaynaklanan iş kazaları, çevresel sorumlulukları yerine getirememekten kaynaklanan maliyetler, prestij kaybı vb.

2.3 İşletmelerdeki Bakım-Onarım Politikaları

2.3.1 Genel bilgi

İşletmeler, var olan kaynaklarından en iyi şekilde yararlanabilmek için tesis ve donanımını en iyi şekilde korumak amacıyla bakım-onarım sistemlerine planlarında yer ayırmalıdır. Üretkenliği arttırmak, makina ve tezgâhların performanslarını

korumak amacıyla ekonomik ve gerçekçi bir bakım-onarım sisteminin işletmelerde uygulanması kaçınılmaz bir zorunluluktur [7].

Bakımın stratejik hedefi; bulunabilirlik, güvenilirlik ve güvenlik gibi üretim için belirlenmiş gereklerin en düşük maliyetle yerine getirilmesidir. Seçilen bakım-onarım politikası, salt üretim alanında değil tüm alanlarda işletme hedefleri ile tutarlı olmalıdır [8]. İşletmeler kendileri için nasıl ve hangi ölçekte bir bakım sistemi ve yöntemi oluşturacaklarını düşünmek zorundadırlar. Böylece işletme ekonomisi bilimi içinde, işletmenin oluşturacağı ürün maliyetinde hem sermaye hem de yatırım yapılan tesislerin amortisman ve yararlı ömür süreleri içinde, tesis ve mal varlıklarını koruyarak, optimum bir bakım maliyetini hedefleyerek, bakım yönetimini ve organizasyonunu oluşturmak, yönetimin en önemli görevi olmaktadır [7].

İşletme için bakım yönetiminin nasıl ve kimler tarafından yapılacağı en önemli sorunu oluşturmaktadır. Bakım faaliyetlerinin işletme dışında bir danışmana mı verilmesi, yoksa işletme içerisinde bu konuyla ilgili bir birim oluşturularak işletme içinden mi yürütülmesi kararının verilmesinde iyi bir ekonomik analiz yapılması gerekmektedir. Bu analiz aşamasında, işletmedeki makina parkının büyüklüğü, üretim sürecinin niteliği, bakım giderleri, gerekli eğitimin sağlanması için eğitimli eleman gereksinimi, kâr-zarar maliyeti gibi etmenler işletme yöneticileri tarafından dikkate alınmak zorundadır. Buradan çıkan sonuca göre işletme bakım-onarım politikasını belirler [7].

Bir diğer önemli nokta ise, bakım-onarım faaliyetlerinin ne zaman yapılması gerektiğidir. Yani makinalardaki önleyici bakım faaliyetlerinin türü, makinaların belirli aralıklarla mı bakıma alınacağı veya arıza çıkınca mı müdahele edileceğinin belirlenmesi önemli bir konudur [1].

2.3.2 Bakım politikalarının belirlenmesindeki etmenler

İşletmenin teknolojik ve ekonomik yapısına uygun bir bakım politikası aşağıdaki etmenlerin analizi ve sentezi ile oluşturulabilir [1, 7]:

1. Bakım-onarım faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli teknolojinin maliyeti, bu amaçla yapılan projelerin fizibilitesi, yarar/maliyet analizi.
2. Bakım-onarım faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli iş gücü, malzeme ve donanım maliyetleri.

3. Yatırım kararları, yeni makinaların alınması.
4. Tesis, makina ve donanımın özel ve genel amaçlı olması, kapasitesi, hızı, temin özellikleri, üretim sistemi içindeki yeri ve önemi.
5. İşletmedeki makina parkının büyüklüğü.
6. Bakım işlevini yerine getirememesinden oluşmuş/oluşabilecek tüm kayıplar ve maliyetler.
7. Üretim sürecinin niteliği, ürün teslim tarihlerine uyulmamasının oluşturduğu sorunlar, üretimi yeniden programlama zorunluluğu.

2.3.3 İşletmelerin bakım politikası bileşenleri

İşletmenin bakım onarım politikası bileşenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

1. Bakım yönteminin nasıl ve kimler tarafından yapılacağı (bakımın dışarıya mı yaptırılacağı ya da kendi içinde bu işi yapacak ekip mi kurulacağı)

Bakım-onarım ekiplerinin, işletmenin organizasyonel, teknolojik ve ekonomik yapısına uygun düzeyde bakım-onarım faaliyetlerini gerçekleştirebilecek şekilde oluşturulması gerekir. Bu noktada bazı bakım-onarım faaliyetlerinin dışarıya yaptırılması, üretimdeki iş gücünden yararlanılması, özel alanlarda uzmanlaşmış ekiplerin oluşturulması gibi konulara ilişkin ilke kararları belirlenir [1, 7].

2. Bakım iş gücünün tüm iş gücüne oranı

Bakım iş gücünün tüm iş gücüne oranının düzeyi, benzer alanda faaliyet gösteren yurtiçi ve yurtdışındaki işletmelerin kendi özgün yapılarını da dikkate alarak belirlenebilir. Örneğin, bu oran A.B.D.'de yapılan bir araştırmaya göre petrol rafinelerinde % 20, metal sektöründe % 7, tekstil sektöründe % 3, gıda, içki ve sigara endüstrisinde % 6 civarlarındadır. Elbette bu noktada işletmede kullanılan donanımın çağdaşlığı, maliyeti, üretimin sürekli veya kesikli olması vb. etmenler önem kazanmaktadır [1].

3. Periyodik bakım kararlarında en uygun bakım aralığının belirlenmesi

Bakım-onarım sisteminin planlanmasında arızi bakım ve planlı bakım şeklinde iki farklı yaklaşım karşımıza çıkmaktadır. Bu yaklaşımlardan hangisinin seçileceği doğal olarak bir inceleme konusu olup, katlanılan maliyetlerin karşılaştırılması gerekmektedir. Örneğin, sözkonusu iki yaklaşımın ayrı ayrı uygulanması sonucunda

oluşan maliyetler hesaplandığında, arızi bakımın maliyeti 3.250 TL olurken, 4 ayda bir yapılan planlı bakımın maliyeti 2.980 TL olmaktadır. Burada bakım aralığının belirlenmesinde bakımdan sonra gerçekleşen arızalar dikkate alınır. Eldeki istatistiksel veriler kullanılarak en uygun bakım aralığı olarak 4 ayda bir bakım yapılması öngörülmüştür ve bu duruma göre maliyet hesabı yapılmıştır. Görüldüğü üzere de burada oluşan maliyet, arızi (acil) bakım maliyetinden daha düşüktür [7].

4. Önleyici bakım faaliyetlerinin tüm bakım faaliyetlerine oranı
5. Yap/satın al kararları, yatırım kararları ve bu kararların fizibilitesi, yarar/maliyet analizi
6. Bakım-onarım biriminin organizasyonu

Bir işletmede salt arıza durumunda onarım yapılıyorsa bakım-onarım işlemleri, üretim biriminin sorumluluğu altında olabilir. Ancak planlı bakım uygulaması yapan işletmelerde bakım-onarım ile üretim birimlerinin yetkileri dengeli duruma getirilmelidir [1, 7].

7. Planlı bakım-onarım bütçesinin tesis ve donanımın değerine oranı

Bakım-onarım maliyetleri kendi genel giderleri dışında yedek parça ve iş gücü maliyetlerinden oluşmaktadır. Düzenli bir çalışma atmosferi içinde bakım-onarım maliyetlerinin çeşitli ölçütlere göre oranının da benzer işletmelerle karşılaştırılması önem kazanmaktadır. Örneğin; A.B.D işletmelerine ilişkin ortalama bakım-onarım maliyetlerinin tesis ve donanım değerine oranı, radyo ve televizyon endüstrisinde % 3,2, kimya endüstrisinde % 3,6, gıda endüstrisinde % 5,3 ve çelik endüstrisinde % 12,6 gibi değerlere ulaşmaktadır [7].

Üretim sisteminin duraksamadan çalışmasını sağlamak; bakımı belirli bir plan çerçevesi içinde yürütmek yani iyi bir bakım yönetimi ile ve beklenmedik arızaları en aza indirerek, kısaca fabrikanın güvenilirlik derecesini arttırmak şeklinde sağlanabilir. Bir fabrikanın güvenilirliğinin arttırılması için aşağıdaki politikalardan birinin veya birkaçının uygun kombinasyonu ile uygulanmasını gerektirir:

- Önleyici bakıma ağırlık vermek: Arıza oluşmadan, gerekli kontrol ve bakım işlemlerinin yapılması ile arıza olasılığını azaltmayı amaçlayan bakım yöntemidir. Bu politikanın seçilmesindeki en büyük ölçüt: yapılan önleyici bakım maliyetlerinin, sağlanacak yararlarla kıyaslanmasıdır.

- Bakım-onarım ekibini geniş, kullanılan araç sayısını yüksek tutmak: Makinaların duruş süresinin azalması sağlanırken, buna karşılık bakım-onarım ekibinin ve araçlarının boş kalma oranı yüksektir. Arızaya derhal müdahale etme olasılığı yüksektir.
- Yedek üretim kapasitesi bulundurmak: Üretim hattının kritik noktalarında, bir arıza oluştuğunda devreye sokulabilecek yedek makina/ekipman/parçalar bulundurulur. Burada ölçüt, üretimin durması ile oluşan maliyet ile yedekleme maliyetlerinin kıyaslanmasıdır.
- Makinaların güvenilirlik derecesini arttırmak: Üretimde kullanılacak makinaların/ekipmanların ilk yatırım maliyetleri yüksek de olsa kullanım ömrü uzun, kaliteli ve güvenirliği yüksek olan tipleri seçmek ve bu şekilde arıza olasılığını azaltmak olanaklıdır.

Bakım-onarım sisteminin tasarımında yapılan yatırım ve harcamalar ile sağlanan yararlar arasında, olumlu bir yönde denge kurulması şarttır. Bu nedenle her işletmenin kendisine özgü bakım-onarım politikasını geliştirmesi en uygun yoldur [1, 7].

Bakım onarım sistemlerinin yönetiminde etkinlik ve verimliliğin sağlanması ancak uygun bir bakım-onarım politikası ve bunun sonucu olarak uygun bir bakım programının uygulanması ile olanaklı olabilmektedir. Bakım-onarım sistemlerinin temel amacı, üretim sistemlerinin güvenilirliği, kabul edilebilir bir düzeyde tutabilmektedir. Kabul edilebilir bir düzey; maliyetler, yönetim politikaları ve olanakların birlikte incelenmesi ile belirlenebilir.

Bir bakım-onarım sistemi somut olarak;

- Planlı bakım sıklığı,
- Bakımcıların sayısı,
- Meslek çeşitliliği ve nitelikleri,
- Bakımcıların zamanlarının etkinlikle kullanımı,
- Bakım-onarım işlerinin hızlandırılması ve kolaylaştırılması,
- Yenileme kararlarındaki etkinlik,
- Üretim sistemleri içinde yer alan makina ve donanımın bakım kolaylığı,

- Bakım-onarım sisteminin dokümantasyon, bilgi kayıt ve iletişim şekli ile bilgisayarlaştırma düzeyi,
- Bakım-onarım planlamasında uygulanan bilimsel yöntemler düzeyi

Bilgilerinin bir karışımı şeklinde ifade edilebilir [1].

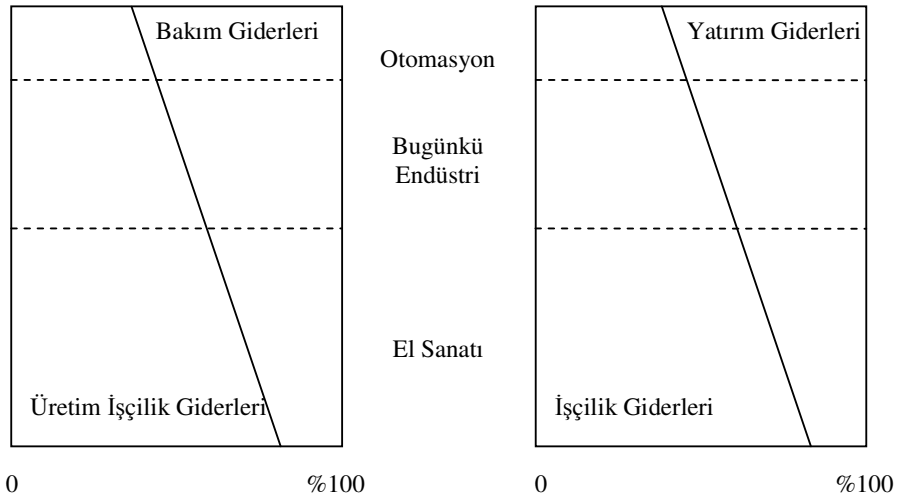
Bakım-onarım planlamasında farklı politikaların çeşitli bilimsel yöntemler ile denenmesi, yıllık katlanılan maliyetlerin karşılaştırılarak en uygununun seçilmesi gerekmektedir.

3. BAKIM YAKLAŞIMLARI

3.1 Bakım Yönetimi Yaklaşımlarının Tarihçesi

3.1.1 Genel bilgi

Bakım, aletin ilk icat edildiği veya işletmeye konduğu andan itibaren var olan bir olgudur. Çalışan ekipman veya makinanın bozulması, yıpranması mutlak olduğuna göre onun sonucunda bakımda var olmaktadır. Endüstri geliştikçe ve otomasyona gidildikçe yatırım giderleri artmakta, işçilik giderleri azalmaktadır. Yatırım giderlerine bağlı olarak bakım giderleri de artmaktadır (Şekil 3.1) [9].



Şekil 3.1 : Endüstride bakımın önemi [10]

Bakım faaliyetlerinin bugüne kadar geçmişi üzerinde biraz araştırma yapanlar görürler ki, bakım tarihinde üç belirgin karakterde farklılık vardır [9]:

1. Bakımdan olan beklentilerdeki değişiklikler
2. Parçaların bakım ve onarımlarındaki genel değişimler
3. Bakım tekniklerindeki gelişmeler

Bu değişimi ve gelişimi özetle inceleyelim.

3.1.2 I. Nesil

I. nesil, II. Dünya Savaşı'na kadar olan zamanı içerir. O günlerde, endüstri fazla gelişmediğinden duruş süreleri pek önemli olmamıştır. Bu, ekipmanlardaki arızaların engellenmesinin yöneticilerin zihninde yüksek önceliğe sahip olmaması demektir. Aynı zamanda, çoğu ekipman basitti ve çoğunun tasarımı eskiydi. Bu durum onarımı kolaylaştırmıştır. Sonuç olarak; basit temizlik, çeşitli hizmetler ve yağlama rutinlerinin dışında sistematik bir bakıma gereksinim duyulmamıştır [9]. Ayrıca bakım için gerekli olan beceri gereksinimi bugünkünden çok daha azdı. Genel karekteristikleri şunlardır [10]:

- Uçaklarda hemen hemen tüm parçaların aşınması veya yıpranması bekleniyordu.
- Kırılan veya hasarlanan parçalar onarılıyordu.
- Bakım teknikleri ise genellikle "onarmak" şeklinde gerçekleşiyordu.

3.1.3 II. Nesil

II. Dünya Savaşı ile birlikte her şey çarpıcı bir biçimde değişmiştir. Savaş zamanı, endüstride çalışacak iş gücünü bulmak zorlaşırken her çeşit ürüne olan talep artmıştır. Bu durum mekanizasyonun artmasına neden olmuştur. 1950 ile birlikte, her çeşit makina daha sayısal ve karmaşık duruma getirilmiştir. Endüstri bu makinalara bağlı olarak kurulmaya başlanmıştır. Bu bağlılık arttıkça duruş süreleri çok daha önemli olmaya başlamıştır. Bu, ekipmanlarda oluşan arızaların önlenebileceği düşüncesinin ve ardından önleyici bakım anlayışının doğmasına neden olmuştur. 1960'larda, ana ekipmanların, sabit zaman aralıklarıyla gözden geçirme sonucu onarımları yapılmakta idi [10].

Ayrıca diğer işletme maliyetlerine görece bakım maliyetleri hızla artmaya başlamıştır. Bakım planlama ve kontrol sistemleri gelişmeye başlamıştır. Bu gelişmeler, bakımın kontrol altında değerlendirilmesine yardımcı olmuştur. Sonunda, insanlar sabit varlıklara bağladıkları para miktarı ile birlikte, onların ömrünü sonuna kadar kullanabilecekleri yollar aramaya başlamışlardır [10].

Bu süreçteki belirgin özellikler ise şunlardır [9]:

- Daha çok ekipman ve parça kullanımı
- Daha uzun parça ömrü

- Daha düşük bakım maliyeti
- Planlanabilen bir depo düzeyi
- Planlama ve kontrollar için sistemler (PERT, Gantt vs.) geliştirilmesi
- Büyük ancak yavaş bilgisayar kullanımının başlaması

3.1.4 III. Nesil

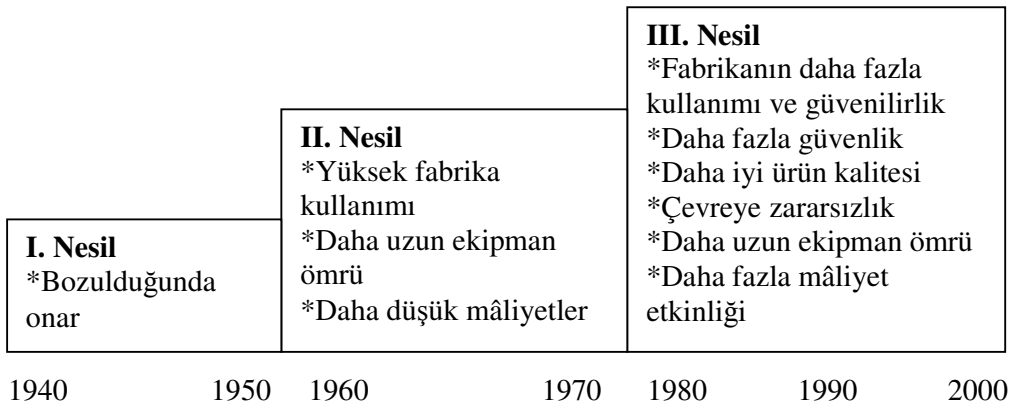
Ekipmanda güvenilirlik ve bakımda güvenilirlik kavramının gündeme gelmesi ile 60'lı yılların ortalarında üretken bakım olgusu gelişme göstermiştir. Bu gelişme beraberinde güvenilirlik mühendisliği, mühendislik ekonomisi olgularını da gündeme getirmiştir. Tüm çalışanların toplu ve bireysel katkıları ile üretken bakıma bütünleşik bir sistem olarak ulaşabilme düşüncesi, 1970'li yıllarda Toplam Üretken Bakım (TPM) kavramını doğurmuştur. TPM, tüm çalışanların üretim ve hizmet faaliyetlerinin yanısıra bakım çalışmalarına grup odaklı olarak katılımını öngören, makina operatörlerinin otonom bakımını gerektiren, arızaların tümüyle önlenmesiyle makina etkinliğinin arttırılmasına yönelik bir bakm yaklaşımıdır [7].

Bu süreç, 1970'lerden sonrasını içerir ve bu uygulamalarda şunlar göze çarpar [9]:

- Daha güvenilir parça ve donanım kullanımı
- Güvenlik etmeninin daha ön plana geçmesi
- Doğanın zarar görmemesi için daha "çevreci" yaklaşımlar
- Kalite normlarında artışlar
- Daha uzun parça ömrü
- Maliyet etkinliği konusunda çalışmalar
- Durum izleme teknikleri
- Kolay bakım yapılabilirlik için tasarımların iyileştirilmesi
- Zararlı malzemeleri taşıma önlemleri konusunda çalışmalar
- Hata Modu ve Etkinlik Analizlerinin başlatılması
- Küçük ancak hızlı bilgisayarların kullanımı

Bakım tekniklerinde ve teknolojide ortaya çıkan gelişmeler, 1980'li yıllarda "kestirimci bakım ve durum izleme" adı verilen yeni bir sistemi ortaya çıkarmıştır.

Bu bakım yaklaşımının temelinde, ileri teknoloji kullanılarak yapılan ölçüm ve analizler aracılığıyla arıza belirtilerinin incelenerek ekipman daha arıza yapmadan ekipmana müdahale edilmesi mantığı yatmaktadır. Bu değişiklikler; yeni beklentiler, yeni araştırmalar ve yeni teknikler başlıkları altında sınıflandırılabilir.



Şekil 3.2 : Bakımda değişen yaklaşımlar ve yöntemler[10]

Duruş süreleri, fiziksel varlıkların her zaman daha az çıktı elde edilmesine neden olmaktadır. Bu da operasyon maliyetlerini arttırırken, müşteri hizmetlerinin artmasına neden oluyordu. 1960'lar ve 1970'lerde, duruş zamanları maden, imalat ve taşıma sektörlerinin ana ilgi alanı oldu. İmalatta, duruş zamanlarının etkileri dünya çapında gelişmekte olan tam zamanlı üretim sistemlerini kötü etkilemekteydi. Çünkü tam zamanlı üretim sistemleri için çalışma için de azaltılmış stoklarla çalışmaktaydı. Bu nedenle küçük duruşlar tüm fabrikadaki üretimin durmasına neden olabiliyordu. Yakın zamanda mekanizasyon ve otomasyonun gelişmesiyle güvenilirlik ve elde edilebilirlik, özellikle sağlık, bilgi işleme, telekomünikasyon ve bina yönetimi gibi sektörlerde kilit konular haline geldi [10].

Daha fazla otomasyon; arızaların, doyurucu kalite standartlarını elde edebilmesi üzerinde daha çok etkiye sahip olması anlamına gelir. Bu, üretim standartları için doğru olduğu kadar hizmet standartları için de aynı derecede geçerlidir. Örneğin; ekipmanlardaki arıza bir binanın içindeki hava sirkülasyonu üzerinde ciddi sonuçlar doğurabilir. Daha fazla arızanın, bu alanda standartların hızla yükseldiği şu durumda bile güvenlik ve çevreyle ilgili ciddi sonuçları vardır. Dünyanın bazı yerlerinde, organizasyonlar toplumun güvenliği ve çevre ile ilgili beklentilerini karşılamadaki başarılarına göre değerlendirilmektedir [10].

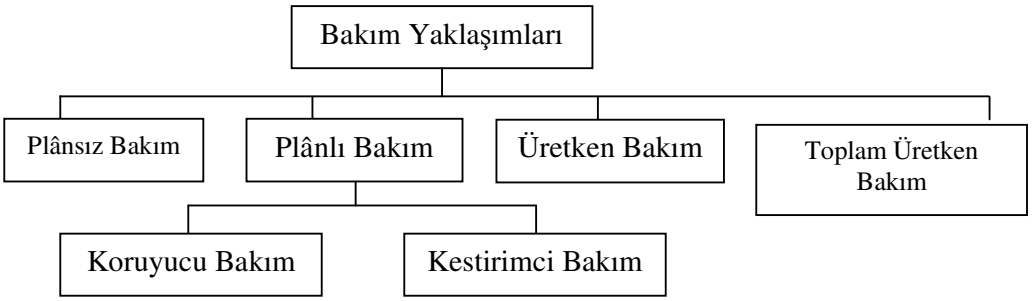
Teknoloji ile birlikte gittikçe karmaşıklaşan ekipman yapısı, etkin maliyetler ile çalışma isteği, bakım yönetiminde de klasik yaklaşımın sorgulanarak bunlarla birlikte yeni kavram ve anlayışların doğmasına neden olmuştur.

Güvenilirlik merkezli bakım (RCM) da bir arıza yönetimi yaklaşımı olarak bunlardan birisidir. RCM süreci ekipmanı, içinde bulunduğu sistemin fonksiyonunu sağlamadaki rolü ile değerlendirip 7 soru ile klasik olarak kullanılan düzeltici ve özellikle önleyici bakım kavramlarını sorgulayarak bunların yerine farklı kavramlar getirir [11].

Gelişmelerin hızına yetişilmesi zor olan günümüzde, bilgisayar teknolojisinin kullanılmadığı bir bilimsel yaklaşım düşünülemez. Bakım yönetiminde ve bakım anlayışında gelinen son nokta, mikro ve makro faaliyetlerin planlanacağı, kontrol edileceği, raporlanacağı bir bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi (CMMS) kurulması zorunlu hale gelmiş ve kurulmuştur. CMMS, kimisi operasyonel düzeyde, kimisi işletme düzeyinde ortaya konan bakım yaklaşımlarının firma politikası doğrultusunda icrâ edilmesi ve yönetilmesi için kullanılan bir araçtır. Bakım yönetiminin bir parçası olarak değerlendirilen CMMS, son yıllarda bakım dünyasında en çok konuşulan konu olarak karşımıza çıkmaktadır [7].

3.2 Bakım Yaklaşımlarının Sınıflandırılması

Bakım yöntemlerini Şekil 3.3' de verilen biçimde sınıflandırabiliriz.



Şekil 3.3 : Bakım yöntemlerinin sınıflandırılması [1]

Bakım yaklaşımı faaliyetleri dört temel amaca yönelmelidir [6]:

1. Üretim maliyetini düşürmek
2. Ürün kalitesine katkıda bulunmak
3. Tesis ömrünü arttırmak

4. Üretimin sürekliliğini sağlamak

Yukarıda sayılan bakım yaklaşımlarının dört temel amacına ek olarak, bakım yaklaşımlarının ortak hedefleri, aşağıdaki şekilde maddeler halinde sıralanabilir [7]:

1. Ekipman arızalarını, bakım işçilik ve yedek parça maliyetlerini azaltabilme
2. ISO'nun bakım yönetimi konusunda öngördüğü koşulları sağlayabilme
3. Ekipman ve harcama (sarf) yerleri bazında bakım maliyetlerini izleyebilme
4. Aynı bakımların farklı kişiler tarafından yapılması durumunda kişilere olan bağımlılığı azaltabilme
5. Depoda bulunan yedek parçaların optimum kullanım miktarlarını belirleyebilme
6. Ekipmanların ekonomik ömürlerini kestirebilme
7. Etkin bakım planlaması yapılarak fazla mesaileri azaltabilme

3.3 Plansız (Düzeltici) Bakım (CM: Corrective Maintenance)

Plansız, diğer bir deyişle düzeltici bakımda arıza olduktan sonra bakım-onarım faaliyetleri yapılmaktadır. Hatta o anda başka küçük tip arızaların farkına varılamadığı, daha sonra bu tip arızaların daha büyük arızalara ve duruşlara neden olduğu görülmektedir [1].

Genel olarak, bir tesis veya donanımın durmasına veya üretim kalitesinin kabul edilebilir sınırlar dışına çıkmasına neden olan arıza nedenlerinin belirlenmesi ve giderilme yollarının bulunmasıdır [6].

Bu yöntem, çok sayıda yedekleri bulunan ve fazla pahalı olmayan makinalarla üretim yapan tesislerde ve atölyelerde uygulanmaktadır. Oluşan beklenmedik bir arıza nedeniyle makine durduğunda yapılan bakım ve onarımları içermektedir. Bu bakım yönteminin en önemli sakıncası, hasarın ne zaman ortaya çıkacağı bilinmediğinden, gerçek bir üretim planı yapmanın olanaklı olmayışıdır [7].

Düzeltici bakım kavramı için ayn zamanda *acil bakım, arızi bakım* veya *plansız bakım* kavramları da kullanılmaktadır. Bu bakım yaklaşımında olay esaslı çalışmalar yapılmaktadır. Yani bakım, ekipmana, arızadan veya performanstaki kötü gidişten sonra daha büyük kayıplara yol açmasının engellenmesi için uygulanmaktadır. İki çeşit arıza bakımı vardır [1]:

1. Planlı onarım, arızadan sonra sorunla ilgilenmenin hatayı önlemekten daha ekonomik olduğu durumlarda gerçekleştirilir.
2. Plansız onarım ise önlenmiş olması gereken hataları içerir. Bu tür onarım, üretim planını riske sokar ve genellikle beklenmedik zamanda karşılaşıldığı için çözüm, acele ile ve telaş içinde uygulamaya alınır.

Düzeltici bakım uygulanmasının başlıca sakıncaları ise şunlardır [6, 7]:

- Makinaların yedeklerinin bulundurulması, işletme için hem sermaye hem de depolama açısından büyük sorun oluşturur.
- Hasarın ne zaman oluşacağı bilinmediğinden, gerçek bir üretim planlama yapılması güçtür.

Günümüzde terk edilme aşamasında olan bu yaklaşım, ancak duruşunun önem oluşturmadığı, ana üretimi doğrudan etkilemeyen noktalarda uygulanabilir.

3.4 Planlı (Önleyici) Bakım (Preventive Maintenance)

3.4.1 Genel bilgi

Önleyici bakım, ekipmanın ömrünü arttırmak ve planlanmamış bakım etkinliğini önlemek için tasarlanmış, tesisin ve ekipmanın planlı bakımıdır [12]. Tesis ve donanımın belirli bir programa göre arıza oluşma koşulu aranmaksızın yapılan muayene, yağlama, ayarlama, yenileme, revizyon yolları ile kullanılabilirlik süresinin arttırılması çalışmalarıdır. Bu tür zaman esaslı çalışmalar *Planlı Bakım* olarak adlandırılmaktadır. Amaç acil bakım gereksinimlerini en aza indirmektir [1, 2].

Planlı bakımda arıza oluşma koşulu yoktur. Yani plansız bakım gibi olay esaslı değildir. Bu yaklaşımda makina veya parça üreticisi firmaların kullanım kılavuzları ya da kendi bilgi, sezgi ve deneyimlerimiz kullanılarak belirli periyotlar ile muayene, bakım ve/veya parça değiştirme yapılmaktadır [12, 13].

Planlı bakım yaklaşımının uygulanabilmesi için makina, donanım ve parçalar konusunda gerekli doküman, bilgi ve deneyime sahip olmak gerekir. Her makina, donanım için bakım talimatlarının hazırlanarak hangi periyotta (gün, hafta, ay, yıl vb.) nelerin yapılacağı belirlenmelidir. Bu bilgiler çerçevesinde bir planlı bakım

programı ve bütçesi oluşturulmalı ve işletme yönetiminin onayı alınarak uygulanmalıdır [1].

Önleyici (planlı) bakım, üç faaliyeti gerektirir [7]:

1. Kötüye gidişi önlemek için günlük bakım (temizlik, kontrol, yağlama, sıkma vb.).
2. Kötüye gidişi önlemek için periyodik muayeneler ve ekipman tanıları.
3. Kötüye gidişi önlemek için onarma.

Planlı bakımın amaçları aşağıdaki şekilde maddeleştirilebilir [12]:

- Makinaların duruşunu en aza indirerek olanaklı en yüksek düzeyde üretimi sağlamak.
- Önceden hazırlanacak üretim programlarının gerçekleşmesini sağlamak.
- Makinaların ekonomik ömrünü uzatmak.
- Daha iyi ekipman durumu nedeniyle ıskarta ürün, yeniden işleme ve hurdada azalma sağlamak.
- Arıza hasarlarını en aza indirmek suretiyle onarım giderlerini azaltmak.
- Daha yüksek güvenlik ve kalite koşullarına ulaşmak.
- Planlı bakım yoluyla bakım giderlerini azaltmak.

Planlı bakım iki şekilde uygulanabilmektedir. Birincisi, muayene esaslı yaklaşım yani kestirimci bakım yaklaşımıdır. Kestirimci bakım yaklaşımı ile bakım-onarım gereksinimi olup olmadığı belirlenmektedir. İkinci yaklaşım tipi ise koruyucu ya da periyodik yaklaşım olarak adlandırılan zaman esaslı bakımdır. Bu yaklaşım tipinde öngörülen bakım anında belirlenmiş esaslar dahilinde gerekli bakım ve yenileme faaliyetleri yapılmaktadır [1, 7].

3.4.2 Koruyucu bakım

İmalatçı firmalar veya yapılan incelemeler sonucu belirlenen bir bakım programının periyodik olarak uygulanması, bakım anlarında gerekli onarım, yağlama, yenileme vb. işlemlerin gerçekleştirilmesidir. Bu bakım yaklaşımına *sistematik bakım* adı da verilmektedir. Koruyucu bakım, düzgün bir üretim planlaması ile uygulandığında üretim sisteminin etkinliğinin ve kullanılabilirliğinin artmasını sağlar [1, 14].

Endüstrilerde en çok kullanılan bakım yöntemidir. Zaman esaslı veya sayaç esaslı periyodik olarak uygulanan bu bakım tipinin amaçları şunlardır [15]:

1. Üretim için optimum sayıda ekipmanı hazır duruma getirmek.
2. Üretim yapan makinaların duraksamasını en aza indirerek olası en yüksek düzeyde üretim sağlamak.
3. Makina ve ekipmanların kullanım ömrünü uzatmak.
4. Makinaların arızalanmalarını enazlamak.
5. Üretim giderlerini azaltmak.
6. Üretimde hatasız ve zamanında ürün elde edilmesini sağlamak.
7. Nihai ürün kalitesini arttırmak.

Koruyucu bakım yaklaşımı, duruşların ve iş güvenliğinin önem arzettiği durumlarda hem daha az maliyetli hem de daha güvenli bir bakım yaklaşımı olarak karşımıza çıkmaktadır [7, 15].

Bir planlı bakım yaklaşımı olan koruyucu bakım kapsamına girecek makina ve ekipmanın seçiminde temel parametreler şunlardır:

- Arızanın çalışan veya çalışanlara zarar verebilmesi (iş güvenliği).
- Üretim duruşuna neden olabilmesi.
- İşletme varlıklarının hızla yıpranabilir duruma gelmesi.

Koruyucu bakım aşağıdaki faaliyetleri içermektedir:

- Arızayı önlemek için makina ve ekipmanların periyodik muayenesi
- Makina ve ekipmanın izlenmesi ve önleyici önlemlerin alınması
- Makina ve ekipmanın uygun şekilde yağlanması, temizlenmesi ve boyanması
- Makina ve ekipmanda gerekli kalibrasyonların ve ayarların yapılması
- Gerekli görülen yerlerde programlı revizyonların ve programlı parça değişimlerinin yapılması

Koruyucu bakımın tanımından da anlaşılacağı üzere zaman esaslı bir bakımdır ve periyodik bakım olarak da adlandırılmaktadır. Hangi makinanın ne zaman bakımının yapılması gerektiğinin karar verilmesi önemli bir noktadır [6].

Koruyucu bakımda, bakım ekibinin deneyimi, makinaların geçmişteki performans ve çalışma koşulları gözönüne alınarak bakım frekansları, bakımda yapılacak işlemler, bu işlemler sırasında hangi parçaların değiştirileceği ve hangi işlemler sırasında hangi tip iş gücünün kullanılacağına karar verilir.

İyi tasarlanmış bir koruyucu bakım programı her zaman maliyetinin üstünde bir kazanç sağlar. Kuşkusuz üretim araçlarının ve donanımının bakım maliyetleri yüksektir. Ancak üretim duruşlarının maliyeti, bakım maliyetlerinden daha fazladır. Bir periyodik (koruyucu) bakımın işletmeye sağlayacağı üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [1, 12, 15]:

1. Ekonomik, ölçülebilir ve kontrol edilebilir özelliklere dayalıdır.
2. Verimlilik ve maliyet kotrolü yapmak olanaklıdır.
3. Daha yüksek maliyetli bakım-onarım işleri elimine edilmiş olur.
4. Potansiyel sorunlar önceden belirlenerek giderilir. Rassal arızalar azaltılarak bakım-onarım maliyetleri düşürülmüş olur.
5. Önceden planlanıp, ayrıntılı programlar yapılabilir.
6. Plan ve programlara dayalı olarak bakım iş emirleri oluşturulabilir.
7. İş gücü, yedek parça ve malzeme gereksinimleri uygun programlarla karşılanabilir.
8. Hangi işlemin ne zaman yapılacağı belli olduğu için gerçeğe yakın bakım bütçesi oluşturulabilir.
9. Yedek parça gereksinimi azaltılabilir ve daha etkin yedek parça kontrolu sağlanabilir.
10. Arızi bakım süreleri, toplam bakım-onarım süresinin % 10'una kadar azaltılabilir.
11. Daha az üretim duruşu ve gecikmesi olur.
12. İş güvenliği düzeyi yükselir.
13. Sabit kıymetlerin ömrü artar.
14. Daha düşük birim üretim maliyeti elde edilebilir.

Etkin bir bakım politikası, toplam maliyetler açısından optimum çözümü üretmeye çalışır. Periyodik bakımın üstün yanlarının yanında sakıncalı yanları da bulunmaktadır. Bu olumsuzluklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir [7, 12, 15]:

- Üretim, planlanan periyotlarda yine umulmadık beklenmeyen arızalardan dolayı durmaya mahkûmdur. Bu ani ve plansız üretim duruşları, hem bakım ekibini güç durumda bırakabilir, hem de üretim planını bozar.
- Bakım ekibi, plan ve programı yapılmış ama gerçekte belki o anda gerekmeyen bakım için zaman kaybedecektir. Bundan dolayı çok sayıda bakım personelinin istihdam edilmesi gerekecektir.
- Periyodik bakım sırasında, gerek istatistik sonuçlara bakılarak ve gerekse deneyimler sonucu değişmesi planlanan parçalar, belki de ömürlerini tamamlamadan değiştirilmek zorunda kalacaktır. Ayrıca bir parçada oluşan hasar, hesapta olmayan başka parçalarda hasar yaratacağından birçok parçanın stokta hazır bulundurulması gerekecektir. Bu da yedek parça maliyetini arttıracağı gibi stoklama sorununu da beraberinde getirir.
- Planlı periyodik bakım sırasında, özellikle hassas makinaların sökülüp yeniden monte edilmeleri, çalışma duyarlılığını ve ayarını bozabilir. Bu ayarsız süre içinde üretim hatalı ve düşük olacaktır. Periyodik bakımdan sonra, gerek ayar gerekse yeni parçalardaki sürtünme ve aşınmalardan dolayı makinanın rejim haline gelmesi için bir süre geçecektir. Yeni ayarlamalar ve ilk aşınmalardan sonra iyi çalışma koşullarına dönülecektir ama, bu arada üretim kalitesinde ve miktarında düşme olacaktır.

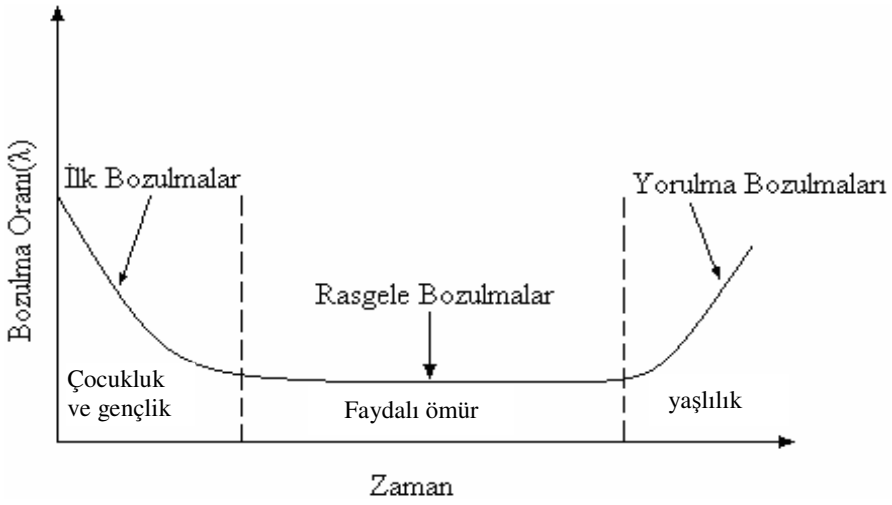
Periyodik bakım yönergelerinin hazırlanması sırasında ekonomik bakım düzeyinin, dolayısıyla ekonomik bakım aralığının belirlenmesi, daha etkin ve verimli bir planlama yapılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle küvet eğrisi ve bakım maliyetleri kavramlarının dikkate alınması gerekmektedir.

3.4.2.1 Küvet eğrisi

Bir sistemin veya makinanın bozulma oranı fonksiyonu, ekonomik ömür içinde genel olarak bir küvet eğrisi ile ifade edilmektedir (Şekil 3.4).

Tüm parça, aygıt ve ekipmanın ömrü, alışma (çocukluk ve gençlik), olgunluk (yararlı ömür) ile aşınma ve yıpranma (yaşlılık) evrelerinden oluşur. Aygıtın ilk

kurulumundan rejime ulaşana kadar geçen ömrün ilk dönemlerinde arızalanma olasılığı oransal olarak yüksek bir düzeyden başlamakta olup, zamanla rejime ulaşması ile giderek azalır. Yararlı ömür döneminde ise belirli bir düzeyde olup, hemen hemen sabit bozulma oranına sahiptir. Bu dönemde donanım en yüksek çalışma verimine sahip olur. Son evre olan yaşlılık yani yıpranma döneminde ise bozulma oranı, gittikçe artan bir hızla değişim göstermektedir. Alışma, olgunluk ve yaşlılık dönemi arızaları farklı nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle farklı dönemlerde farklı önlemler alınmalıdır [1, 7].



Şekil 3.4 : Bozulma oranının zamana gore değişimi (Küvet Eğrisi)

Ekipman yaşam dönemlerine göre arıza nedenleri ve önlemler Çizelge 3.1'de bir bütün halinde sunulmaktadır.

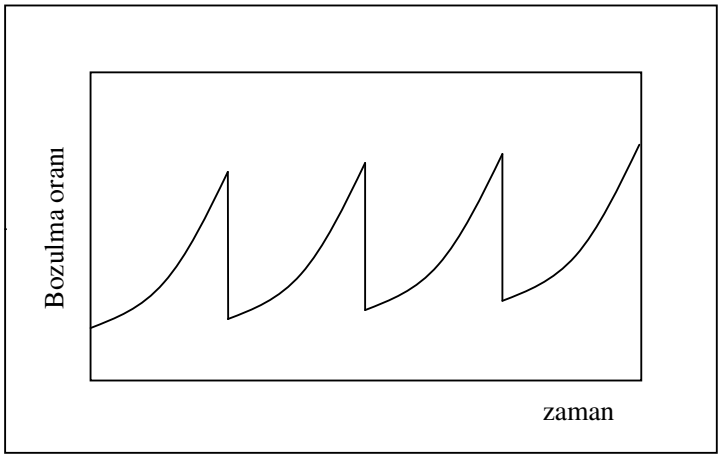
Çizelge 3.1 : Ekipman yaşam dönemlerine göre arıza nedenleri ve gerekli önlemler

Sınıflandırma	**Alışma Dönemi**	**Yararlı Ömür Dönemi**	**Yıpranma Dönemi**
Neden	Tasarım ve imalat hataları	İşletme hataları	Aşınma, yıpranma ve malzeme yorulması
Önlem	Test ve denemeler	Makina operatörü eğitimi	Önleyici ve üretken bakım

İlk bozulmalar, tasarım ve imalat hatalarından kaynaklanır. Bu tür arızaları önlemek için başlangıçta testler yapılarak gerekli önlemler alınmalıdır. Bu süre mekanik sistemler için genellikle çok kısa bir süredir.

Rassal arızaların görüldüğü yararlı ömür dönemindeki arızalar, çoğunlukla işletim hatalarından kaynaklanır. Bu konuda makina operatörlerinin eğitimi önem kazanır.

Yıpranma döneminde görülen arızaların nedeni ise ekipman ve parçaların ömürlerini tamamlamalarından kaynaklanır ve bu durumda önleyici ve üretken bakım anlayışıyla sözkonusu ömürler uzatılmaya çalışılmalıdır. Bu durum Şekil 3.5'de gösterilmektedir. Bozulma oranı zaman içinde şekilde görüldüğü gibi artmakta, koruyucu bakım yapıldıktan sonra ise orijinal haline geri dönmektedir [15].

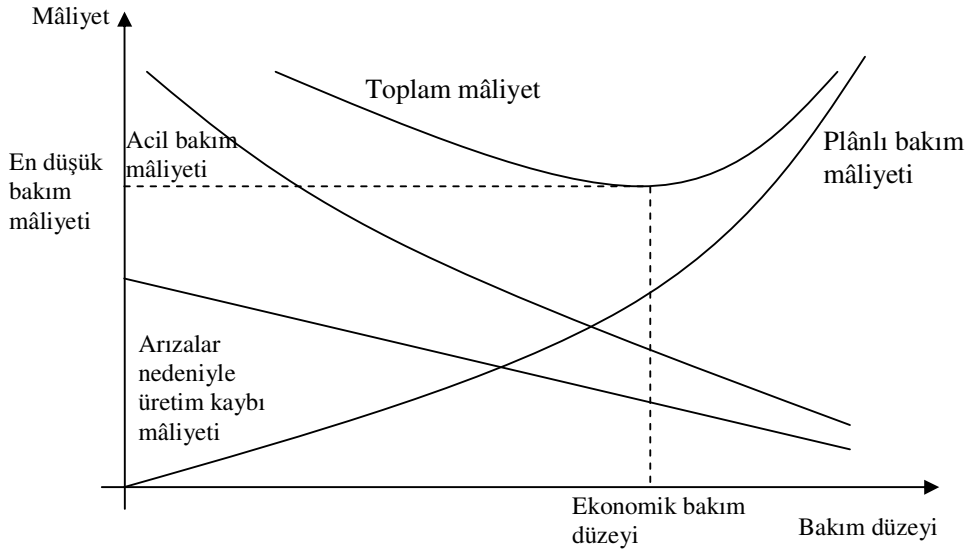


Şekil 3.5 : Bozulma oranı şematik görünüşü [15]

3.4.2.2 Bakım maliyetleri ve ekonomik bakım düzeyi

Plansız bakım maliyetleri ile planlı bakım maliyetleri, birbirine göre gerekli bakım düzeyi açısından farklı yapılara sahiptirler. Bakım düzeyinin arttırılması, yani muayene, yenileme, ayarlama şeklinde yapılan faaliyetlerin arttırılması planlı bakım maliyetlerini arttırırken, onarım maliyetlerini ve duruşlardan kaynaklanan üretim kaybı ile diğer dolaylı maliyetleri azaltmaktadır. Bu durum Şekil 3.6'da grafik halinde verilmiştir.

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, düşük bakım düzeyinin neden olduğu maliyetler iki kısımdan oluşmaktadır. Birincisi arızi bakım maliyetleri olup, planlı bakımın olmadığı, arıza olana kadar üretim sürdürüldüğünden arıza sayısı, önemi ve maliyetinin yüksek oranda gerçekleştiği durumdur. Onarım sayısının çokluğu ve önemi fazla olduğundan makina duruşları da sayı, önem ve süre açısından artacak, bu da üretim kaybı maliyetleri ile birlikte diğer dolaylı maliyetlerin önemli artışlarına neden olacaktır [1, 7].



Şekil 3.6 : Ekonomik bakım düzeyinin saptanması

Planlı bakım düzeyinin arttırılması ile onarım, üretim kaybı ve dolaylı maliyetlerde azalmalar oluşmakta, buna karşılık planlı bakım maliyetleri artmakta ancak toplam maliyet bir noktaya kadar azalmaktadır. Bu noktadan sonra planlı bakım maliyetlerinin hızla artması nedeniyle toplam maliyette de artma eğilimi görülmektedir [14].

En az toplam maliyete karşılık gelen bakım düzeyi *ekonomik bakım düzeyi* olarak adlandırılmaktadır.

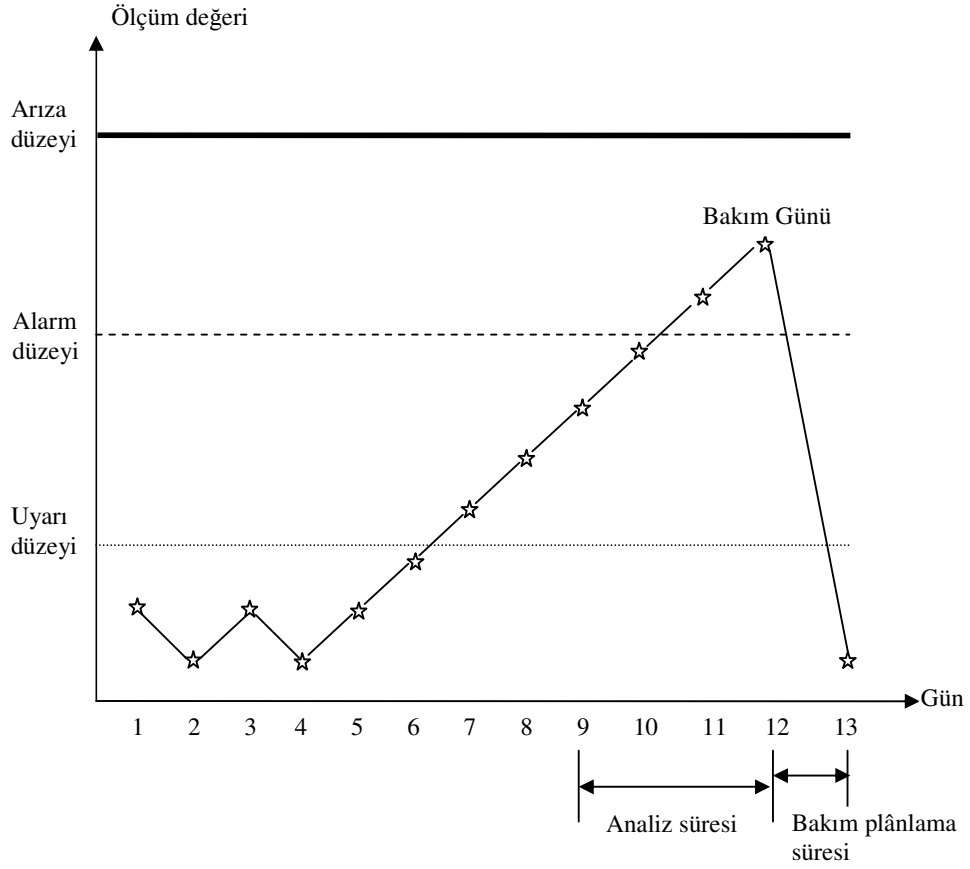
Ekonomik bakım düzeyi, bakım-onarım faaliyetlerinin planlamasında gözönüne alınacak önemli bir noktadır. Ancak maliyet olarak ifade edilemeyen iş güvenliği ile ilgili bazı donanımın bakım-onarımında ekonomiklikten çok, yüksek güvenilirlik düzeyinin daha önemli olacağı açıktır. Ayrıca bazı tesis ve donanımda arızi bakım, bazılarında koruyucu bakım, bazılarında ise kestirimci bakım politikaları uygulanabilir. Sorun; iş güvenliği, ekonomiklik, kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeylerini içine alan karmaşık bir yapıdadır.

3.4.3 Kestirimci bakım (Predictive maintenance)

Kestirimci bakım; makina ve ekipmanın normal koşullarda çalışıp çalışmadığının periyodik ölçüm ve kontroller ile izlenmesi, elde edilen ölçüm ve kontrol sonuçlarının değerlendirilerek bir arıza olasılığı olup olmadığının belirlenmesi, böyle

bir olasılık varsa gerekli bakım-onarım faaliyetinin uygun bir zamanda yapılmak üzere planlanarak gerçekleştirilmesidir (Şekil 3.7). Kestirimci bakımın, sistemin güvenliğini ciddi biçimde arttırdığı kanıtlanmıştır [1, 16].

Kestirimci bakım için bir başka tanımlama da, makina ve ekipmanlardaki arızaların sorun yaratacak duruma gelmeden önce saptanması, analizi ve düzeltilmesi amacıyla seçilen parametrelerin ölçülmesi ve önceden belirlenen sınır değerlerle grafik eğilimler kullanarak karşılaştırılması şeklinde yapılabilir. Kullanılan yaklaşım, makina ve ekipmanların güncel ve geçmişteki durumlarının izlenmesiyle gelecekteki durumlarının kestirilmesidir [17].



Şekil 3.7 : Kestirimci bakım grafiği [1]

Yaklaşımın tanımından da anlaşılacağı üzere, bu bakım sisteminin ana ilkesi, makinaların performansının incelenerek ne zaman bakıma gerek olacağına karar verilmesidir. Kısa süre üretime ara verilerek daha önceden belirlenen arıza onarılmaktadır.

Kestirimci bakım, arızalar oluşmadan önce onları öngörmek amacıyla periyodik ölçümleri gerçekleştirmek, süreç veya makina parametrelerine yönelmektir. İyi bir güvenilirlik programının temelinde kestirimci bakım yatmaktadır. Yağlama gibi bir koruyucu bakımın bir arızayı önlemesinin yerine, kestirimci bakım faaliyetleri potansiyel makina faaliyetlerini öngörme ve tahmin etme üzerine odaklanır. Potansiyel arıza tahmin edildiğinde, işlev bozukluğu olan makina için düzeltici faaliyete öncelik verilir [17, 18].

Bu bakım yaklaşımında makinalarla ilgili bazı parametrelerin kontrolü ve ölçümünün yapılması gerekmektedir. Bu ölçüm ve kontroller ile makinanın çalışma koşulları hakkında düşünce oluşturulabilmekte ve bu şekilde hatanın ve/veya hasarın oluşma nedenleri belirlenebilmektedir. Arızanın nedeni belirli olduğundan gerekli yedek parça ve ekipmanlar temin edilerek üretimin kısa süreli durdurulması ile de arızanın giderilmesi sağlanmaktadır.

Kestirimci bakım, gerektiğinde özel aygıtlar kullanarak yapılan periyodik gözlem ve durum izleme sistemiyle makina, parça ve donanımın bakım-onarım gereksinimlerinin belirlenerek en uygun zamanda bu faaliyetin gerçekleştirilmesidir. Böylece daha az duruşa, işçilik ve malzeme harcamasına neden olunmakta, parça ömürlerinden daha uzun süre yararlanılmaktadır [6].

Bu sistemde arızanın nedeni önceden teşhis edildiği için, bakım başladıktan sonra arızanın bulunması için zaman yitirilmemekte ve gerekebilecek yedek parçalar önceden temin edilerek bakım süresi kısaltılmaktadır. Yine bu sistem sâyesinde, ekipmanlar tam olarak arızalanıp dağılmadan önce bakıma alındığı için, ikincil hasarlar da önlenebilmektedir. Örneğin herhangi bir rulmanın arızalanması durumunda, rulman dağılmasına az bir süre kala değiştirilerek, rulman dağılması sonucu oluşabilecek fan, şaft gibi parçaların hasara uğraması önlenebilmekte, bu şekilde parçaların daha verimli olarak kullanılması da sağlanmış olmaktadır [18].

Kestirimci bakım sisteminin başlıca yararları şunlardır [18, 19]:

- Beklenilmeyen zamanlarda ani arızaların olmaması.
- İkincil hasarların oluşmaması.
- Duruşlar arasındaki sürenin uzaması, üretimin artması, bakım masraflarının azalması.

- Hurdaya ayrılan malzemenin azalması.
- Yedek parça stoklarının azalması.
- Bakım süresinin kısalması.
- Ekipman ömrünün uzaması.
- İşletme güvenliğinin artması.
- Gürültü düzeyininin düşmesi.

3.4.3.1 Kestirimci bakımın aşamaları

Kestirimci bakım dört aşamalı olarak uygulanmaktadır:

1. Ölçme ve kontrol
2. Analiz ve değerlendirme
3. Bakımı planlama
4. Bakım-onarım

Ölçme ve Kontrol:

Makina ve ekipmanların çalışma koşullarının belirlenmesi ve izlenebilmesi için yapılan faaliyetleri içermektedir. Bu faaliyetler gerekli bilgi ve beceri düzeyine bağlı olarak makina operatörü, vizitör adı verilen bakım elemanı veya karma bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Ölçme ve kontrol faaliyetlerinde ölçümler özel aygıtlar yardımıyla yapılabilir. Ölçüm faaliyetleri içerisinde; gürültü ölçümü, dokunarak ısınma veya titreşim ölçümü, basınç ve akım farkı ölçümü vb. sayılabilir. Ölçme ve kontrol sonuçları ölçümleri yapan kişi veya kişiler tarafından gerekli evraklarda kayıt altında tutulması gerektiğinden kaydedilir [1, 7].

Ölçme ve kaydetme işi üç farklı yöntem ile yapılabilir:

- Manuel Sistem: Ölçme ve kontrol; göz, el veya aygıtlar ile yapıldıktan sonra sonuçlar önceden düzenlenmiş bir form üzerine işlenir.
- Taşınabilir Aygıtlı Sistem: Ölçümü gerçekleştiren aygıt, ölçüm sonuçlarını kendi belleğine kaydeder veya ölçüm belirli bir aygıt ile yapıldıktan sonra sonuçlar, taşınabilir bir bilgisayara girilir. Daha sonra aygıt veya bilgisayardaki veriler,

analiz ve değerlendirmenin yapılacağı ana bilgisayara, uygun donanım ile aktarılır.

- Sabit Sensörler: Ölçüm noktalarına sabit sensörler yerleştirilir, bu sensörlerle gerçekleştirilen ölçüm değerleri uygun yere yerleştirilmiş monitörlere aktarılır. Bu monitörlerden gelişme izlenir. Işıklı veya sesli uyarıcı sistemleri ile gerekli mesajlar kullanıcıya aktarılır.

Ölçme ve kontroller genellikle makina durdurulmadan veya çok kısa duruşlar sırasında yapılır. Makina çalışırken yapılan ölçüm, arıza nedenlerinin belirlenmesinde en gerçekçi ve en hızlı yöntemdir [15].

Analiz ve Değerlendirme:

Analiz ve değerlendirme, ölçümü yapılan parametrelerin sonuçlarının yorumlanması olarak tanımlanabilir. Burada ölçme ve kontrol sonuçlarının analizi, ölçülen parametrenin (titreşim, basınç, akım, viskozite vb.) zaman içindeki gelişiminin çıkartılması şeklindedir. Yani bunun için çeşitli bilgisayar programları yardımıyla parametre sonuç değerleri zamana bağlı grafik haline getirilerek, ekipmanların çalışma koşullarının ne durumda olduğunun değerlendirilmesi yapılmaktadır [1, 7].

Analiz ve değerlendirme üç şekilde yapılabilir:

- Manuel Olarak: Ölçüm ve kontrol sonuçları elle bir grafiğe işlenerek gelişim belirlenir veya ölçüm değerlerinde sürekli artış gösteren makina yanına bir arıza analizi cihazı ile gidilerek sorunun nedeni belirlenmeye çalışılır.
- Bilgisayarlı Olarak: Ölçüm aygıtı ile analiz aygıtı aynıdır. İstenen ölçüm değerine ilişkin ölçüm grafiği anında oluşturularak aygıtın belleğine kaydedilebilir. Özellikle sürekli artış gösteren değerlerin ölçüm grafikleri mutlaka kaydedilir. Kullanıcı bilgisayar başında grafikleri inceleyerek arıza tanısını yapar.
- Sabit Sensörler İle: Sabit sensörlerce belirlenen sürekli artış durumunu oluşturan veriler bellekte tutulmaya başlanır ve belirli bir düzeye gelindiğinde bu veriler analiz grafiklerine dönüştürülür. Daha sonra bilgisayarlı olarak analiz kısmında belirtilen çalışmalar gerçekleştirilir. Böylece salt üretimin değil makinaların de çalışma kalitesi sürekli izlenebilir duruma gelmektedir.

Sonuçta bu üç analiz ve değerlendirme şekli ile arıza potansiyelini ortaya çıkarmak için ölçülebilecek, gelişim saptanabilecek ve analiz edilebilecek bir çok parametre bulunmaktadır. Bunların en önemlileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [20]:

1. Vibrasyon
2. Yağ analizi ile yıpranma analizi
3. Ultrasonik test
4. Kızıl ötesi sıcaklık ölçümü
5. Motor akım analizi
6. Darbe nabız ölçümü

Vibrasyon (titreşim) ölçüm aygıtı ile; balans ayar bozukluğunu, merkez kaçıklığını, kaplin ayarsızlığını, eğri şaft problemini, aşınmış ve hasarlı dişliler, bozuk rulmanlar, kaymalı yataklarda yağ film kırıklığı, yataklarda radyal gezinmeleri, civata gevşeklikleri, elektrik motoru arızaları, mekanik çözülme, kayış arızaları ve bozuk zincirleri arıza oluşmadan belirlenebilir [20].

Yağ analizi ile; yağın özelliğini yitirip yitirmediğini anlayarak, makinanın zarar görmesini veya yağın kullanım ömründen en üst derecede yararlanmayı sağlayabilmekteyiz. Bunun için yağdaki su oranı, büyük ve küçük manyetik olmayan oranı ile viskozitesi kısa süreler içinde ölçülebilmektedir [20].

Bakım Planlama:

Analiz ve değerlendirme aşamasında belirlenen arıza nedeninin giderilmesi için en uygun zamanda gerçekleştirilmek üzere bakım-onarım iş emrinin oluşturulması gerekmektedir. Arıza nedenine ilişkin parametrenin gelişim hızı, arızanın olası ortaya çıkış zamanını gösterecektir. Dolayısıyla bu tarihten önce bakımın yapılması gerekir. Bunun yanısıra elimizde çalışma takvimi, üretim programı, programlı duruşlar ve bakım programları vardır. Gerekli yedek parça ve işçilik gereksinimi dikkate alınarak, sözkonusu iş emri en uygun zamana programlanır. İş emirleri programlaması deneyim ile yapılacağı gibi, bilgisayar destekli bakım sistemleri programları ile de yapılabilir [1, 7].

Bakım-Onarım:

Bakım-onarım faaliyetleri programlanan zamanda gerekli doküman, donanım, malzeme ve iş gücü ile gerçekleştirilir. Bakım-onarım sonrası gerekli ölçümler yapılarak uygun değerlerin elde edilip edilmediğine bakılır. Makina test edilerek devreye alınır [1].

3.4.3.2 Kestirimci bakım uygulamalarında izlenecek yöntem

Amaca uygun bir kestirimci bakım uygulamasının gerçekleştirilebilmesi için aşağıdaki sıraya uyulmaya çalışılır [1, 18, 19]:

1. İşletmede kestirimci bakım dahilinde izlenecek makinaların listelenmesi ve kritiklik derecesi verilmesi.
2. Makinaların işletme yerleşimine göre krokilerinin çizilmesi.
3. Makinaların adlandırılması ve kodlanması.
4. Her makinanın basit bir teknik resminin çizilmesi ve makina özelliklerinin belirlenmesi, tutulmuş ise o güne kadar makinanın çıkardığı arızaların gözden geçirilmesi, gerekli analizlerin yapılması.
5. Her makinanın temel ölçüm değerlerinin alınması.
6. Her ölçüm için geçerli uyarı, alarm ve arıza limitlerinin belirlenmesi.
7. Ölçüm turlarının organizasyonu.
8. Uygulamayı yapacak elemanların eğitilmesi.
9. Ölçümler arası zaman diliminin belirlenmesi.

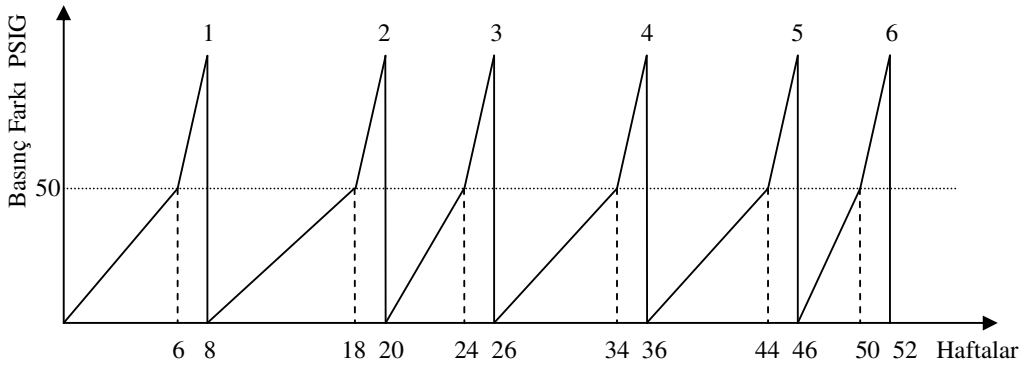
3.4.3.3 Kestirimci bakımın ekonomik yararı

Kestirimci bakımın ekonomik yararının anlaşılabilmesi için bu konu bir örnek üzerinde anlatılacaktır. Örneğimizde; bir aygıta farklı yaklaşımlarla bakımın uygulanması ile oluşan maliyetlerin karşılaştırılması sonucu en ekonomik yaklaşımın belirlenmesi sağlanacaktır. Örneğin uygulanması ile görülecektir ki en ekonomik bakım yaklaşımı olarak kestirimci bakım karşımıza çıkacaktır [1, 7].

Uygulamada bir ısı eşanjörü üzerinde giriş ve çıkış basınç farkı dikkate alınarak uygulanan farklı bakım yaklaşımlarının ekonomik sonuçları verilmektedir. Şekil 3.8, arızi bakım yaklaşımının ekonomik sonuçlarını, Şekil 3.9 periyodik (koruyucu)

bakım yaklaşımının ekonomik sonuçlarını, Şekil 3.10 ise kestirimci bakım yaklaşımının ekonomik sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 3.8'de ısı eşanjöründe arıza oluştukça bir yıl içerisinde yapılan bakımları göstermektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere yıl içerisinde farklı dönemlerde 6 kez arıza oluşmuş ve bunun sonucunda bakım faaliyetleri uygulanmıştır. Bu durumda her bir arıza onarımının maliyeti 17.200 YTL olduğundandan toplam maliyet (6*17.200 =) 103.200 YTL'yi bulmaktadır.



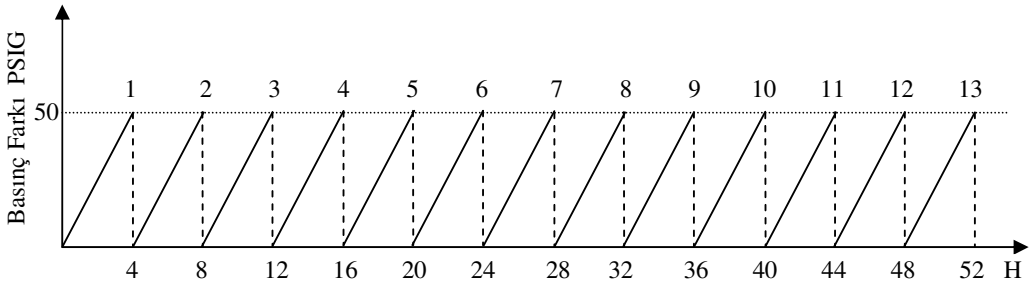
Şekil 3.8 : Arızi bakım yaklaşımı ile ekonomik sonuçlar [1]

Arıza sayısı = 6

Arıza onarım maliyeti = 17.200 YTL

Toplam Maliyet = 103.200 YTL

Isı eşanjörüne uygulanan koruyucu bakım yaklaşımına göre her 4 haftada bir bakım uygulanmaktadır. Bu durumda aygıtta arıza görülmemektedir ve dolayısıyla performans sabit kalmaktadır.



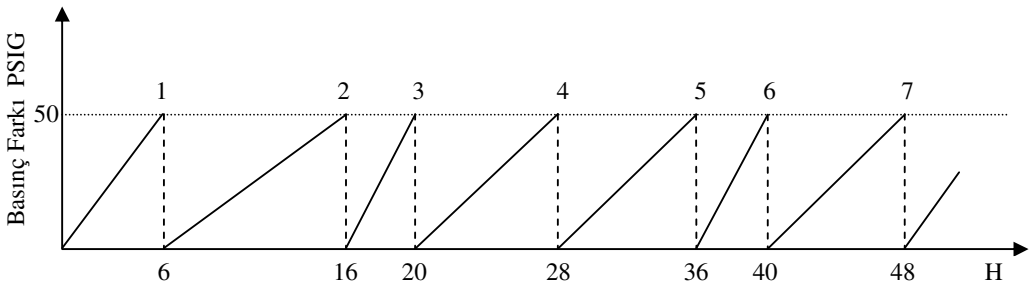
Şekil 3.9 : Periyodik bakım yaklaşımı ile ekonomik sonuçlar [1]

Periyodik bakım sayısı = 13

Bakım maliyeti = 2.150 YTL

Toplam Maliyet = 13*2.150 = 27.950 YTL

Kestirimci bakım yaklaşımında çıkış-giriş basınç farkı ölçümlendirilmekte ve 50 PSIG değerine ulaştışında bakım yapılmaktadır. Bu durumda yılda 7 kez bakım gereksinimi ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.10 : Kestirimci bakım yaklaşımı ile ekonomik sonuçlar [1]

Kestirimci bakım sayısı = 7

Bakım maliyeti = 2.150 YTL

Toplam Maliyet = 7*2.150 = 15.050 YTL

Görüldüğü gibi kestirimci bakım yaklaşımı en ekonomik çözümü vermektedir. Koruyucu bakım yaklaşımında da kestirimci bakım yaklaşımında da arıza oluşmamaktadır. Ancak önemli olan periyodik ölçme sistemini en iyi şekilde tasarlayarak ve uygulayarak arıza oluşmadan bakımın yapılmasıdır. Kestirimci bakımda bakım sayısının azlığı, işletme için maliyet yönünden üstünlük sağlamaktadır.

Günümüz de teknolojik gelişmelerin de hızlanmasıyla kestirimci bakım yaklaşımı uygulamaları artış göstermektedir [1, 7].

3.5 Üretken Bakım (Productive Maintenance – PM)

3.5.1 Genel bilgi

Toplam Üretken Bakımın temelini oluşturan Üretken Bakım, koruyucu bakımın bir parçası olarak yapılan ve ekipmanı ilk durumuna getirici rol oynayan üretim tipinin de ötesinde bir yere sahip olan; aynı arızanın yeniden oluşma olasılığını azaltan, onarımları özendirici rol oynayan, bakımı kolay ve daha iyi bir ekipman üretebilme

amacına yönelik bir çaba ile tasarım aşamasını da bünyesine katan bakım koruması kavramlarından doğmuştur [7].

Güvenilirliği ve bakım kolaylığını sağlamak için önleyici, kestirimci ve bakım yapılabilirliği geliştirici teknikleri, tasarım-ürün ömür çevrimi maliyeti ilkeleri doğrultusunda yaratıcı bir şekilde birleştiren sistematik bakım faaliyetleridir [1, 6].

Üretken bakım çok elemanlı sistemlerde daha fazla önem kazanan bir yaklaşımdır. Bu tarz sistemlerde;

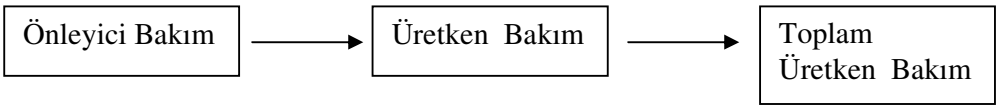
- Öncelikle sistem elemanlarının ömür istatistikleri incelenmekte,
- Daha sonra sistemin hangi sıklıkta bakıma alınacağına karar verilmektedir.

İstatiksel verilerin toplanmasıyla aşağıdakiler belirlenebilmektedir [1]:

- Sorunun nedenleri
- Arızaların sıklığı
- Toplam üretim kaybı
- Bakım maliyetleri.

Önleyici bakım aşamasına geçmiş bir işletme, üretken bakıma geçiş aşamasında zorlanabilir. Üretken bakım yaklaşımı, uygun yapıda geliştirme gruplarının oluşturulmasını öngörür. İşletmenin çeşitli birimlerinde çalışan kişileri bakım-onarım odaklı çalışmaların içine çeker. Çalışanların yaratıcılıklarının ortaya çıkarılmasını hedefler. Elde edilecek somut sonuçlar, çalışanların doyumunu ve güdülenmesini arttırır. Sonuçta güvenilirliği ve bakım kolaylığı yüksek düzeyde olan ekipmanlar ile üretim yapılma olanağı sağlanır.

Üretken bakım, önleyici bakımda sağlanan gelişmeleri daha etkili ve sürekli kılar. Üretken bakımda üretimi destekleyen ekipmanın yanısıra, bunun en verimli ve ekonomik şekilde gerçekleştirilmesi de amaçlanmaktadır. Dolayısıyla, bu amaçlara ulaşmada, önleyici bakım, düzeltici bakım, bakım önleme ve arızi bakım kavramları da kuruluş çapında benimsenmiş ve uygulanıyor olmalıdır. Kuruluşun var olan bakım düzeyi, üretken bakıma geçiş sürecini doğrudan nasıl etkilemekte ise, üretken bakım felsefesini belirleme ve uygulama düzeyi de benzer şekilde toplam üretken bakım sistemini yerleştirme sürecini de aynı şekilde etkilemektedir (Şekil 3.11) [1].



Şekil 3.11 : Bakım sistemleri arasındaki ilişki

Üretken bakımda izlenecek yöntem genel hatlarıyla aşağıdaki şekilde sıralanabilir [1, 7]:

- İncelenecek ekipmanı belirleme
- Bir çalışma grubu oluşturma
- Veri toplama
- Verileri değerlendirme, özellikle sık yinelenen sorunları belirleme
- Güvenilirliği ve bakım kolaylığını arttıran, bakım-onarım kalitesini yükselten, maliyetleri düşüren öneriler geliştirme
- Önerileri değerlendirme ve en uygun olanını belirleme
- Seçilen öneri ile ilgili bilimsel ve sistematik çalışmaları gerçekleştirme, gerekli test ve/veya denemeleri yapma
- Öneriyi yetkili makamlara sunma
- Onaylanan önerileri uygulama
- Uygulamadaki aksaklıkları giderme
- Uygulamanın standartlaştırılmasını sağlama.

Şekil 3.11'den de görüldüğü gibi önleyici bakım üretken bakımın temelini oluşturmakta ve bu anlayışın geliştirilmesi ile üretken bakım oluşmaktadır. Daha sonra üretken bakımın geliştirilmesi toplam üretken bakımın (TPM) doğmasına temel oluşturmuştur. TPM'in tanımının yapılmadan önce TPM ile üretken bakım (PM) arasındaki farkları görmek TPM sürecinin anlaşılmasını kolaylaştıracaktır (Çizelge 3.2) [17, 21].

Çizelge 3.2 : TPM ile PM arasındaki farklar [21]

TARZ	ÖZELLİKLER
1. TPM	TPM, üretim sistemlerinin olabilecek en yüksek verimlilikte olmasını sağlamak için baştan başa tüm uğraşlar için tasarlanmıştır.
PM	Ekipman uzmanlarına odaklanmıştır. O nedenle PM, ekipman üretimi ve bakımı yolu ile ekipman verimliliğini enbüyüklemek için her ne kadar çabalasa da, baştan başa bir üretim verimliliğini gerçekleştiremez.
2. TPM	TPM'nin karakteristiği, operatörlerin kendi ekipmanlarının bakımını yapmak ve korumak zorunda oluşudur. Ekipman kontrolü (arızanın tanınması) ve onayı uzman bakım personeli tarafından yapılırken, rutin bakım (temizlik, yağlama, contaların sıkılması, kontrol vb.) operatörlerin sorumluluğu altındadır.
PM	Rutin bakım, kontrol ve onarımı da içeren tüm bakım işleri bakım personelinin sorumluluğunda iken, operatörler üretime adanmışlardır.
3. TPM	TPM, tüm üyelerin katılımındaki küçük grup faaliyetlerini belirtir. Resmi organizasyonla birleştirilmiş küçük grup etkinlikleri anlamına gelir (en üst yönetimden, orta kademeli personele, işletmedeki en uçtaki işçiye kadar). Bu 'üst üste bindirilmiş küçük grup faaliyetleri' olarak adlandırılmaktadır.
PM	Tüm üyelerin katılımının sağlandığı küçük grup faaliyetleri yoktur.

3.5.2 Üretken bakımın amaçları

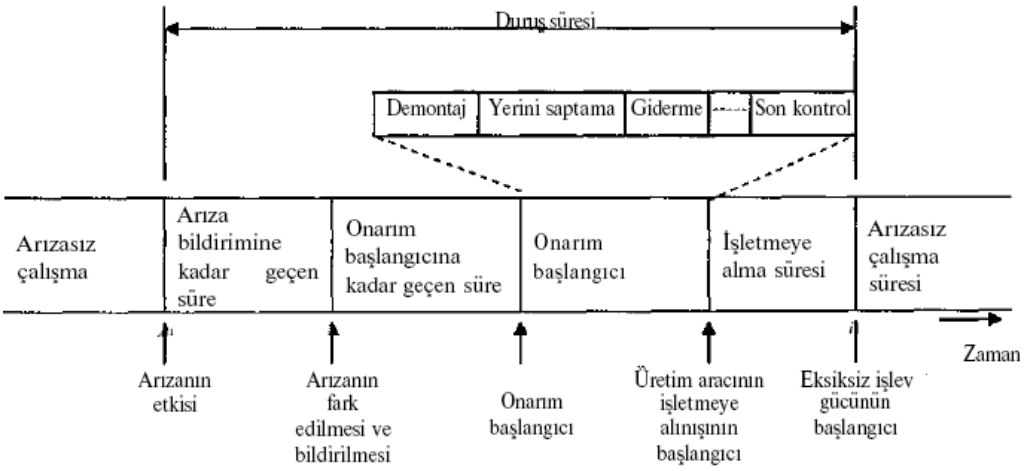
Üretken bakımın amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [1, 3, 7]:

1. Bakım personelinin sorun çözme bilgi ve becerisini arttırmak.
2. Çalışanlarda ekipmanları sahiplenme duygusu yaratmak.
3. Takım ruhunu geliştirmek, kişilerde liderlik niteliklerinin ortaya çıkmasına olanak sağlamak.
4. Somut hedeflere yönelik çalışmak.
5. Çalışanların motivasyonunu sağlayacak bir ortam yaratmak.
6. Bölümler arası bakım-onarım bazlı iletişim ve işbirliğini arttırmak.
7. Yeni ekipman alımlarında dikkate alınacak bakım-onarım temelli bilgi birikimini sağlamak.
8. Kalite ve verimlilik artışı elde etmek, maliyetleri düşürmek.
9. Sıfır arıza hedefine yaklaşabilmek.

Üretken bakımda esas olan, sistem duruşlarının nedenlerinin belirlenmesi ve bir daha ortaya çıkmayacak şekilde ortadan kaldırılmasıdır. Bir ekipman arızasının neden olduğu maliyetlerin önemli bir kısmının tasarım ve üretim aşamalarında yapılan işlemlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Arıza nedenlerinin yaklaşık % 10'luk bölümü, kullanım sırasındaki hatalardan kaynaklanmaktadır. Üretken bakım, ekipmanın tasarım ve üretim aşamasına bakım-onarım açısından olan bir yaklaşımdır.

3.5.3 On altı büyük kayıp

Üretimde oluşan aksaklılar ve ekipmanlarda ortaya çıkan arızalar, üretim maliyetlerini; duruş maliyetleri, bakım işçiliği, ve kullanılan yedek parça bakımından artıracaktır. Bakım yapmak, ekipmanların ekonomik kullanım sürelerini arttıracak ve üretim maliyetlerini düşürecektir. Şekil 3.12'de üretim sırasında oluşan arızalardan kaynaklanan duruşların şematik gösterimi verilmiştir [22].



Şekil 3.12 : Üretim sırasında arıza nedeniyle oluşabilecek duruşlar [22]

Üretken bakım, toplam ekipman etkinliğini hedef almaktadır, bir yandan da ekipmanın çalışma koşullarının ideale ulaşmasını amaçlamaktadır. Buradan hareketle üretken bakım, ekipmanın genel çalışma koşullarını ideale getirmeye çalışırken çıktıların ise enbüyüklenmesine, bir yandan da girdilerin enküçüklenmesine özen göstererek verimliliği arttırmada bir yardımcı olarak ifade edilebilmektedir. Ekipmanların verimli bir şekilde kullanılması hem işi kolaylaştırır, hem de şirketin

kârını arttırır. Ekipmanları olabilen en verimli şekilde kullanmak, ekipmanların işlevlerini ve performansını en yüksek düzeye getirmek demektir [17].

Üretimde otomasyonun artmasıyla daha çok çıktı için ekipmanın etkin çalışmasının sağlanması gerekmektedir. Verimliliğin gelişmesini olumsuz bir şekilde etkileyen en önemli etmenlerin başında kayıplar gelmektedir. Üretken bakım, bir sürecin genel çalışma koşullarını en iyi düzeye getirebilmek için süreç öncesinde, sırasında ve sonrasında oluşabilecek kayıpları sıfır düzeyine getirmeye çalışır. Ekipman verimliliğini etkileyen en temel kayıplar; arıza kayıpları, ayar kayıpları, ilk çalıştırma kayıpları, hız kayıpları, kontrol sistemlerinden kaynaklanan kayıplar, enerji kayıpları vb.'dir. İşletmelerde, bilinen ancak çözülemeyen ya da farkına bile varılamayan birçok kayıp vardır. Bu kayıplar, "Toplam Kalite Yönetimi" içinde "16 kayıp" olarak tanımlanır. Bu kayıpların belirlenmesi ve giderilmesinde en büyük rol insana düşmektedir. İşletme için verimliliği etkileyen 16 kayıp, Çizelge 3.3'de belirtilmiştir [17, 21].

Çizelge 3.3 : İşletme için verimliliği etkileyen 16 büyük kayıp

Ekipmandan kaynaklanan 8 büyük kayıp	Arıza kayıpları
	Hazırlık süresi/ayar kayıpları
	Kesici takım kayıpları
	Isınma kayıpları
	Küçük duruşlar/önemsiz kayıplar
	Hız kayıpları
	Eksikler/yeniden çalışma kayıpları
	Fabrika kapatma (SD) kayıpları
İşgücünden kaynaklanan 5 büyük kayıp	Yönetimsel kayıplar
	Harekete geçmedeki gecikmeler
	Düzen kayıpları
	Otomatik sistemlerin eksikliği sonucu ortaya çıkan kayıplar
	İşleme ve işe alışma kayıpları
Malzemeden kaynaklanan 3 büyük kayıp	Ürün kayıpları
	Enerji kayıpları
	Kalıp, jig, fikstür kayıpları

3.5.3.1 Ekipmandan kaynaklanan 8 büyük kayıp

1. Arıza:

Ekipmanda oluşan arızaları iki grupta inceleyebiliriz [1, 22]:

a) *İşlevsel duruşa neden olan arızalar:* Aniden ortaya çıkan ve ekipmanın tümüyle durmasına neden olan arızalardır.

b) *İşlevsel kötüleşmeye neden olan arızalar:* Ekipmanın düşük hızla çalışmasına ya da hatalı ürün üretilmesine neden olan arızalardır. Bu tür arızalar genellikle çok fazla önemsenmez ve geçici çözümlerle sorun çözülmeye çalışılır. Oysa bu arızaları önemseyip köklü çözümler bulmak, hem üretim verimliliği açısından hem de ekipmanın çok büyük zararlara uğramaması açısından çok önemlidir.

Arıza kayıplarını sıfıra indirmek için şunlara dikkat edilmelidir [1]:

- Kötüye gidiş derhal durdurulmalıdır.
- Ekipmanın mutlaka sağlaması gereken üç temel koşuluna özen gösterilmelidir:

a) Temizlik

b) Yağlama

c) Civataların sıkılması

- Ekipmanın işletme koşullarına uygun çalıştırılmasına dikkat edilmelidir.
- Bakım kalitesi arttırılmalıdır.
- Arızaların görünen nedenlerini yok etmekle yetinmemeli, sorunun ana kaynağı saptanmaya çalışılmalıdır.
- Bâzen makinalar işletmenin kullanım gereksinimlerine tam olarak yanıt verebilecek şekilde tasarlanmış olmayabilir. "Üreticisi en iyisini yapmıştır" düşüncesinden vazgeçilmeli, bu tür tasarım zayıflıklarını düzeltmek için çözümler düşünülmelidir.
- Her arızadan ders alınmalıdır.

2. Hazırlık Süresi/Ayar Kayıpları:

Model değişikliği ile oluşan kayıp zaman; üretim, model değişikliği için durdurulduğu zaman başlar ve ilk kaliteli ürün üretilinceye kadar sürer. Burada en fazla zaman alan model değişikliği sonrası yapılan ayarlardır. Model değişikliği işlemelerini;

a) Makina çalışıyorken yapılabilecekler

b) Makinayı durdurmadan yapılamayacaklar

şeklinde iki grupta inceleyebiliriz. Aslında makinayı durdurmadan yapabileceğimiz model değişimi ve ayarların oldukça fazla olduğu görülecektir. Bunun dışında model değişimi ve ayar sürelerini en aza indirmek için şu konular üzerinde durulmalıdır [1, 7, 17, 22]:

- Makinaların standardizasyonu sağlanmalı ve verilen standartlara uygun çalışılmalıdır. Model değişimi ve ayarlarla ilgili standartların olmaması, gereksiz ayarlarla zaman kaybına ya da eksik ayarlar nedeniyle hatalı ürün oluşumuna neden olabilir.
- Ekipman, jig ve takımların duyarlılıkları gözden geçirilmelidir. Çünkü gerçekte periyodik olarak yapılması gereken ayarların yapılmaması, her gün ya da her model değişikliğinde pek çok gereksiz ayarla zaman kaybına yol açar.
- Aparat ve takımların olabildiğince standart olmasına dikkat edilmelidir.
- Gereksiz her türlü işin ortadan kaldırılmasına dikkat edilmelidir. Örneğin kaldırılması gereken bir ağırlık, basit bi aparat ile çok daha kısa sürede kaldırılabilecekse o aparat kullanılmalıdır.

3. Kesici Takım Kayıpları:

Uzun kullanım sonucu aşınmış kesici takım ve jiglerin değiştirilmesi sırasında oluşan kayıplardır. Gerektiği zaman değiştirilmeyen bıçak ve jigler nedeniyle oluşan hatalı üretim kayıpları da bu kayıplara dahil edilmelidir. Bu kayıpları ortadan kaldırmak için yapılacaklar aşağıda sıralanmıştır [22]:

- Kesici takım ve jigler, kırılmaları beklenmeden periyodik olarak değiştirilmelidir.
- Kesici takım uçlarının ve jig yedeklerinin yerleri sabit ve standart olmalıdır ve böylelikle değiştirme sırasında uç/jig arama süresi en az düzeye getirilmelidir.
- Değişim işlemi yöntem olarak da standart duruma getirilmelidir.

4. Isınma Kayıpları:

Makinaların üretim sırasında çalışmalarından kaynaklanan ısınmaları sonucu optimum çalışma koşullarını kaybetmeleri ile ortaya çıkan kayıplardır [22].

5. Küçük Duruşlar ve Boşta Bekleme:

Makinalardaki 10 dakikadan daha kısa süreli duruşlar küçük duruşlar olarak adlandırılır. Küçük sorunlar nedeniyle makinanın durması veya herhangi bir nedenle

makinanın boşta beklemesi ile oluşan kayıplardır. Az iş yükleme, bir kalite hatası nedeniyle makinanın beklemesi boşta beklemeye uygun bir örnektir [1].

6. Hız Kayıpları:

Ekipmanın kuramsal olarak çalışabileceği hızdan daha düşük hızda kullanılması nedeniyle oluşan kayıplardır. Ekipmanın ideal hızdan çok daha düşük hızla çalışmasının çok çeşitli nedenleri olabilir. Mekanik sorunlar, geçmişten gelen sorunlar, ekipmana zarar verme korkusu vb. Amaç, ideal hızla işletme hızı arasındaki farkı kapatma ve kuramsal çalışma hızına ulaşmak olmalıdır [7].

7. Eksikler/Yeniden Çalışma Kayıpları:

Süreçteki kalite ve onarım hataları, ekipmanın yanlış üretim yapmasından kaynaklanan kalite kayıplarıdır. Hatalar da aniden oluşan hatalar ve kronik hatalar olarak ikiye ayrılır. Genel olarak, ani oluşan hatalar, ekipman normal koşullarına getirilerek kolaylıkla düzeltilebilir. Ancak kronik hataların nedenlerini bulmak ve bunları ortadan kaldırmak, ayrıntılı bir çalışma ve araştırma gerektirir [22].

8. Fabrikayı Kapatma (SD) Kayıpları:

Periyodik bakım veya diğer planlanmış kapatmalar sırasında oluşan kayıplardır. Yemek ve çay paydosları için ekipmanların kapatılması da bu grup içerisinde ele alınan kayıplardır.

3.5.3.2 İşgücünden kaynaklanan 5 büyük kayıp

1. Yönetimsel Kayıplar: Bu kayıplar, yönetimden kaynaklanan bekleme kayıplarını içerir. Bu beklemeler, yönetimin kararlarından dolayı geciken malzeme, ekipman, takım, onarım ve yönerge (tâlimat) beklemeleri olabilir [1, 22].
2. Harekete Geçmedeki Gecikmeler: Üretim sırasında gerçekleştirilen gereksiz hareketler nedeniyle oluşan kayıplardır. Model değişimi ve ayar, takım-tertibat değiştirme, yükleme ve boşaltma sırasında operatörlerin yetenek düzeyi farklılığından kaynaklanan kayıplar bu gruba giren hatalardandır [17, 22].
3. Tertip/Düzen Kayıpları: Operatörlerin, ekipmanın birden fazla bölümünde aynı anda çalışmak zorunda kalmasından ve hat organizasyonunun çok karmaşık olmasından kaynaklanan kayıplardır.

4. Otomatik Sistemlerin Eksikliği Sonucu Ortaya Çıkan Kayıplar: Malzemeciler dışındaki çalışanların (operatörler, bakım uzmanları vb.) yaptığı taşımalar nedeniyle oluşan kayıplardır. Bu taşımalar; operatörler tarafından gerçekleştirilen ürün, yarı ürün ve/veya hammadde taşımaları olabilir. Oysa ki bu taşıma işlemi otomatik bir sistem ile gerçekleştirilse, oluşacak kayıp azalacaktır [7, 22].
5. İşletme ve İşe Alışma Kayıpları: Sık sık yapılan gereksiz ölçümler ve ayarlar nedeniyle oluşan kayıplardır. Burada ekipmanlarda çalışan operatörlerin işe yeni başlama dönemlerinde işe el yatkınlığının artması için, gereken süredeki kayıpları da ele alabiliriz. Bunun dışında yeni kurulan bir sisteme operatörlerin ve ürün girdilerinin uyumlandırılması sırasında oluşan kayıpları da bu grupta incelemek olanaklıdır [1].

3.5.3.3 Malzemeden kaynaklanan 3 büyük kayıp

1. Ürün Kayıpları: Hatalı üretim nedeniyle atılan malzemeler nedeniyle oluşan kayıplardır. Bu kayıpların önlenmesi veya en aza indirilebilmesi için işletmeler çeşitli politikalar üretmektedir. Bu politikalardan biri, uygun bakım yaklaşımının seçilmesidir. Bu şekilde, benimsenen sıfır hata ile üretim yapılması hedeflerine ulaşılabilmesi olanaklı olabilmektedir [1].
2. Enerji Kayıpları: Üretim işleri için etkin olarak kullanılamayan enerji, önemli bir kayıptır. Başlangıç sırasındaki enerji kayıpları, işlem sırasındaki ısı kayıpları, boş bekleme sırasındaki kayıplar vb. bu gruptaki kayıpları oluştururlar [7].
3. Kalıp, Jig ve Fikstür Kayıpları: Bu gruptaki kayıplar, gereksiz yere alınmış hassas aletler nedeniyle oluşan maliyet kayıplarıdır.

3.6 Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance - TPM)

3.6.1 Genel bilgi

Toplam üretken bakım, çalışanların bilgi ve becerilerinin arttırılması, kullanılan ekipmanların en iyi şekilde korunması, tüm bakım faaliyetlerinin bilgisayar ortamında izlenmesi ve gerekli önlemlerin zamanında alınmasıyla sıfır kaza, sıfır hata, sıfır plansız duruşu amaçlayan bir işletme yönetim sistemidir [17].

Tüm çalışanların katılımını ve özerk bakımı gerektiren yaklaşım olarak tanımlanabilen bakım anlayışı, ilk kez Japonya'da Seiichi NAKAJIMA tarafından

Toplam Üretken Bakım (TPM: Total Productive Maintenance) adı ile 1970'li yılların başında getirilmiş, Avrupa'da 1980'lerde Türkiye'de de 1990'lı yıllarda başlamıştır. TPM, Japonya'da JIPM denilen Japon Fabrika Bakım Enstitü'sünün desteklediği bir sistemdir, Enstitü TPM başarıyla uygulayan şirketleri ödüllendirmektedir. Bu şirketler daha çok üretim yapan şirketlerdir. Daha önceleri Japon firmaları bu ödülü kazanırken, Avrupa'da VOLVO ve Türkiye'de de Pirelli İzmit Fabrikası bu ödülü kazanmıştır. Kalite çemberi çalışmaları, toplam kalite anlayışı ve tam zamanında üretim sistemi, toplam üretken bakımın (TPM) doğması ve gelişmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur [21, 23].

Toplam üretken bakımda geçen "toplam" sözcüğü TPM'nin aşağıdaki üç temel özelliğini açıklar [21, 24]:

1. **Toplam etkinlik:** Ekonomik etkinlik ve kârlılığı gösterir; üretkenlik, maliyet, kalite, teslimat, güvenlik, çevre, sağlık ve moral kavramlarını içerir.
2. **Toplam bakım sistemi:** Önleyici bakımın yanısıra, bakımın geliştirilmesi ve bakım önlemi kavramlarını içerir.
3. **Toplam çalışan katılımı:** Küçük grup faaliyetleri ve operatörlerin otonom bakımı ile fabrika ve ekipman etkinliğini arttırmayı hedefler.

Günümüze kadar gelen işletme organizasyonlarında imalat bölümü imalat faaliyetlerinden, bakım bölümü ise bakım-onarım faaliyetlerinden sorumlu idi. Bu çalışma şekli, sıfır arıza hedefine ulaşma yönünde yeterli ve ekonomik olmamaktadır. Bakım ekipleri her türlü periyodik bakım ve arıza onarım işlerine yetişememekte, bakım ekiplerinin sayılarının yeterli düzeye getirilmesi durumu da ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle son yıllarda "üretici üretir, bakımcı bakım yapar" anlayışı bırakılarak, üreticinin belirli bir sınıra kadar makina bakım ve onarımından sorumlu tutulması anlayışı yerleşmektedir [1].

Toplam üretken bakım, üretim ve bakım ekipleri başta olmak üzere, organizasyon içindeki tüm bölümler arasında sinerjik bir bağ kurar. Böylece ürün kalitesinin sürekli iyileştirilmesini, operasyonel etkinliğin arttırılmasını ve kapasitenin etkin kullanımını hedefler. Etkin bir TPM'in temel taşları, üretim ve bakım faaliyetleridir. Ekipman ile ilgili tüm bölümlerin birlikte çalışması ve görevlerini tam olarak yerine getirmesi gerekmektedir. TPM, ekipmanın toplam performansının ve güvenilirliğinin arttırılması için operatörlerin bakım personeli ile birlikte çalışmasını öngörür.

Otonom bakım sistemi ile operatörler ekipmanın günlük bakımının aksatılmadan yapılmasını, arıza nedenlerine en hızlı şekilde müdahale edilmesini ve bakım sırasında makina operatörünün boş kalmasını veya salt takımcılık (takım alma verme) yapmasını önlemektedir. Ayrıca makina operatörünün bakım-onarım bilgi ve becerisini geliştirerek sorunların çözümüne katılımını arttırmaktadır [21, 25].

Bakım bölümü, artık büyük ve önemli bakım ve arızalarla ilgilenmekte, otonom bakıma destek vermekte, onların bakım faaliyetlerini planlamakta, geliştirmekte, gerekli alet-edevat gereksinimleri ile makina operatörlerinin bakım-onarım konusundaki eğitim gereksinimlerini belirlemektedir [21].

Toplam üretken bakım, günlük üretim ve hizmet faaliyetlerinin yanısıra tüm çalışanların grup odaklı olarak katılımını öngören, makina operatörlerinin özerk bakımını gerektiren, arızaların tümüyle önlenmesi ile makina toplam etkinliğinin arttırılmasına yönelik yeni bir bakım sistemi yaklaşımıdır [1, 6].

TPM felsefesi çerçevesinde aşağıdaki öğelere önem verilmektedir [25]:

- Makina toplam verimliliklerinin arttırılmasını sağlamak için hedefler koyar ve şirket kültürünün değişmesini önerir.
- Arıza, kayıp ve hataların zamanında önlenebilmesi için ekipmanın tüm ömrü üzerine odaklanan etkin, önleyici ve planlı bir bakım sistemi kurar.
- Tasarım yapan, bakım yapan ve ekipmanı kullanan dahil tüm bölümler arasında eşgüdümü sağlar.
- Üst yönetimden atölye çalışanlarına kadar herkesi içerir.
- Yüksek verimliliği sağlama ve ürün kalitesinde sürekli iyileştirmeyi hedefler.
- Küçük çalışma grupları, özerk faaliyetlerinde sıfır kayba ulaşmayı hedefler.
- Şirket bütününde sıfır kaybı hedefleyen, takıma dayalı faaliyetleri yönetir.
- İş güvenliğinde etkinliği sağlayarak sıfır kaza, sıfır hata ile çalışmayı hedefler.

TPM'nin temeli, operatörün makinasını sahiplenmesi, makinasının farkına varması, makina, enerji, hammadde ve kendisi ile ürün, yani girdiler ile çıktılar arasında ilişkiyi kurması, makina ve enerji bilgilerini ön plana çıkararak bunları iş yaşamına yansıtması şeklindedir [6, 17].

Günümüzde endüstrilerde üretimin otomasyonla gerçekleştirilmesi gösteriyor ki fiziksel üretimde insanlardan çok makinalar yer almaktadır. Bu durumda; üretimde insan etmeninden beklenen ana işlev, makinaların tam olarak ve arızalı/hatalı ürün oluşmayacak şekilde çalışabilmelerini sağlamak için bakım yapmaktır. TPM'nin bu aşamada getirdiği farklı yaklaşım, insandan beklenen sözkonusu bu bakım işlevinin, eskiden olduğu gibi salt ilgili makinadan sorumlu bakım uzmanının çabasıyla değil, aynı zamanda ekipmanın kullanıcı ve tasarımcısının da katılımıyla gerçekleştirilebilir olmasıdır. Yani salt bakım uzmanı değil, kullanıcı ve tasarımcının da katılımıyla gerçekleşen bir bakım sistemidir. Ekipman kullanıcılarının kendi ekipmanlarını arıza ve kayıplardan koruyarak aktif rol oynamaları özellikle önemlidir.

Ekipman bakımında tüm bölüm ve çalışanları içermesi, TPM'yi geleneksel bakım faaliyet ve türlerinden ayıran temel niteliğidir. TPM tanımı içinde "Özerk Bakım" olarak da bilinen bu yaklaşım TPM'nin en belirgin özelliğidir. Bir diğer belirgin özelliği ise sıfır kaybı amaçlamasıdır. Bu durum, TPM yordamı içinde "toptan yoketme" olarak da nitelendirilir. Toptan yoketme konusunda ısrarcı olmak, Toplam Makina Verimliliğini en üst düzeye getirmenin anahtarıdır [7].

TPM, arızaların onarılması yerine, arıza nedenlerini belirleme ve bir daha ortaya çıkmamaları için önlem alma anlayışına ağırlık vermektedir. Bu düşünceye göre şunlar söylenebilir [17, 21, 24, 25]:

1. Yatırım ve yenilemeler yerine var olanı iyileştirmeye daha fazla önem verilir.
2. Büyük değişiklikler yerine küçük değişikliklerle ilerlemeye daha fazla önem verilir.
3. Çalışanların iyileştirme çalışmalarına zaman ayırmalarını öngörür.
4. Uzun vâdeli düşünce ile sorunlara yaklaşımı öngörür.
5. Uygulamanın ilk yıllarında bakım maliyetlerinde artış beklenebilir.
6. Başarı için önce imalat bölümünde çalışanlar iknâ edilmelidir.
7. Üretim planları yapılırken bakım ve üretkenliği arttırıcı onarımlar için gerekli zaman ayrılmalıdır.
8. Makina ve ekipman etkinliklerinin gerçekçi ve ayrıntılı bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir.

TPM uygulanması ile ödül kazanmış 200 şirketin aldığı ve JIPM tarafından yayınlanan sonuçlarda uygulamanın işletmelere sağladığı yararlar rakamsal olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir [22]:

- 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 düzeylerinde düşüş %50
- Çevre kirliliğinin azaltılması %100

3.6.2 TPM' nin beş temel faaliyeti

TPM' nin beş temel faaliyetini aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz [21, 26]:

1. Toplam ekipman verimliliğini enbüyüklemek
2. Ekipmanların ömrünü içeren bir bakım sistemi kurmak
3. TPM uygulamasının salt bakım birimin görevi değil, mühendislik, üretim, satınalma, stok kontrol birimlerinin de ortak görevi olduğu anlayışı
4. Üst yönetimden ilk hat operatörlerine kadar tüm çalışanların katılımı
5. Küçük takım (çember-ekip) çalışmaları ile bireylerin sorumluluk duygularını ve motivasyonlarını geliştirerek, koruyucu bakımların etkinliğini ve kalitesini arttırmak.

TPM'nin 5 temel faaliyetinin uygulanması ile özerk bakım olarak adlandırılan altı büyük kaybın önlenerek etkinlik ve verimliliğin arttırılması, bu amaçla makina operatörünün eğitimi, iyileştirme önlemlerinin alınması, sorunlara yaklaşım mantığının değiştirilmesi sağlanmaktadır. Bununla birlikte şunlar da sağlanmaktadır [1, 25]:

a) Makinalardaki sorunların saptanması ve giderilmesi, temizlik, pislik üreten nedenlerin belirlenmesi, zor temizlenen bölgelerin saptanması ve kolay temizliğini sağlayacak önlemlerin alınması (5S Kuralı).

b) Makinaların yapılarının ve çalışma özelliklerinin tanınması, temizlik ve yağlama standartlarının belirlenmesi, kontrol için gereken standartların oluşturulması

TPM'in amaçlarından biri olan beş temel faaliyet ile sıfır hatanın gerçekleşmesi için gereken koşullar belirlenmekte, bu koşulların sürekliliğinin sağlanması ile % 100 kalitenin garanti altına alınması, tezgâhla % 100 verimli duruma gelinmesi olanaklı olmaktadır [1].

3.6.3 TPM' i geliştirmenin 12 adımı

Çizelge 3.4'de TPM'i geliştirmenin 12 adımı hakkında genel bir bilgi verilmektedir.

Çizelge 3.4' de de görüldüğü gibi toplam üretken bakımı geliştirmenin 12 adımı aslında dört ana evreden oluşmaktadır:

a) Hazırlık evresi

b) Ön geliştirme evresi

c) TPM'in geliştirilmesi evresi

d) Stabilizasyon evresi

Hazırlık evresinde şirket yapısına TPM'nin uygunlaştırılması ve çalışanlarına TPM'nin benimsetilmesi çaılşmaları yer almaktadır [1, 21].

Yapılandırmanın ardından ön geliştirme evresinde ise TPM'nin geliştirilmesi uygulamaları gelmektedir. Bir sonraki adım olan TPM'nin geliştirilmesi evresinde ise tam olarak şirket hedeflerinin belirlenmesi ve yapılacakların bir yordam oluşturularak kurallaşması sağlanmaktadır. Stabilizasyon ile de TPM'nin sabitlenerek tamamlanması ve bu kurallar çerçevesinde ilerlemesi sağlanmaktadır [1, 21].

Çizelge 3.4 : TPM' i geliştirmenin 12 adımı [21]

SAFHA	NO	ADIM	AÇIKLAMA
HAZIRLIK	1	Üst yönetimin TPM uygulamasına başlanacağını açıklaması	Yönetimin karar alması, TPM ile ilgili konferanslar verilmesi şirket bülteninde ilgili yazıların çıkması
	2	TPM'nin ilk aşama eğitimi	Âmirlerin bilgilendirilmesi ve eğitimi Yöneticiler: Düzeylerine göre seminer Genel: Slayt
	3	TPM organizasyonunun oluşturulması	Pilot yapının oluşturulması: Her düzeyde TPM ile uğraşacak özel komitelerin kurulması, sorumlulukların belirlenmesi
	4	TPM hedeflerinin ve temel ilkelerinin oluşturulması	Var olan durumun analizi, amaçların belirlenmesi ve sonuçların tahmin edilmesi
	5	TPM uygulaması için ana plan oluşturulması	Programın hazırlanması: Temel etkinlikler için ayrıntılı geliştirme planlarının tamamlanması
ÖN GELİŞTİRME	6	TPM uygulamasına başlanması	Herkesi bilgilendirerek uygulamaya geçiş
TPM GELİŞTİRMESİ	7	Ekipman etkinliğinin geliştirilmesi	Üretimi etkileyen sorunların analizi ve ortadan kaldırılması: Model ekipman seçmek ve proje ekipleri oluşturmak
	8	Operatörler için özerk kullanıcı bakım programının oluşturulması	Operatörlerin bakıma katılmasının sağlanması: Tanı koyabilme yeteneğinin arttırılması ve eğitim yordamını gerçekleştirmek
	9	Bakım bölümü için planlı bir bakım programının kurulması	Programlı bakımın geliştirilmesi: Periyodik, kestirimci bakım sistemlerinin ve yedek parça stok kontrol dokümanlama gibi sistemlerin kurulması
	10	Üretim ve bakım bölümlerinin becerilerinin geliştirme eğitimlerinin yönetimi	Personelin teknik bilgisini geliştirmek: Liderlerin eğitimi, liderlerin bilgiyi grup üyeleriyle paylaşımı
	11	Yeni ekipman yönetim programı geliştirme	Deneyimlerin makina tasarımına aktarılması: Bakım engelleme sisteminin tasarımı, LCC analizleri
STABİLİZASYON	12	TPM uygulamasının tamamlanması ve ölçülü ilerleme	TPM etiketi konularak yeni hedeflerin belirlenmesi: Sonuçların hedeflerle karşılaştırılması ve daha büyük hedeflerin belirlenmesi

3.6.4 Ekipman verimliliğinin hesabı

Herhangi bir tesiste, ekipman verimliliğinin yüksek olduğu söylenirse, mantıksal olarak ekipmanın verimli ve etkin olarak çalıştığı düşünülebilir. Ancak önemli olan, ekipman verimliliğinin oranını saptamak için kullanılan hesap yöntemi ve hesapların dayandığı verilerdir [11].

Birçok şirket, "ekipman verimliliği oranı" ifadesini kullanmaktadır. Ancak kullandıkları hesap yöntemleri birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ekipman verimliliği oranı ile, çok sık olarak, "çalışılabilirlik" veya "çalışma oranı" kastedilmektedir [1].

Genel verimlilik kavramı paralelinde, bir üretim veya hizmet kuruluşunda verimliliğin arttırılması, kuramsal olarak girdilerin en aza indirilerek çıktıların en yüksek düzeye çıkarılması ile olanaklıdır. Bir üretim ortamında girdiler çok genel olarak insangücü, makina ve malzeme olarak sınıflandırılabilir. Çıktıları ise salt ürün sayısı ile ölçmek hataya yol açar; bunun yerine çıktılar aşağıdaki altı özellikle tanımlanmalıdır [1, 7]:

1. Üretim miktarı
2. Kalite
3. Maliyet
4. Teslimat
5. Güvenlik/sağlık
6. Moral

Bir üretim ortamında girdi/çıktı ilişkisi Şekil 3.13'de görüldüğü gibi şematize edilebilir.

Girdi / Çıktı	Mali Kaynak			
	İnsangücü	Makina	Malzeme	Yönetim Yöntemi
Üretim	→	→	→	Üretim Kontrol
Kalite	→	→	→	Kalite Kontrol
Maliyet	→	→	→	Maliyet Kontrol
Teslimat	→	→	→	Teslimat Kontrol
Güvenlik	→	→	→	Güvenlik/Çevre Kont.
Moral	→	→	→	İnsan İlişkileri
	İnsangücü Planlama	Tesis, Mühendislik/Bakım	Stok Kontrolu	Çıktı/Girdi = Verimlilik

Şekil 3.13 : Girdi ve çıktı faaliyetleri arasındaki ilişkiler [1]

Otomasyonun artmasıyla birlikte, verimlilik artışında ağırlık, ekipmanın etkin çalışmasına dayandırılmaktadır. Toplam üretken bakım, bir yandan genel ekipman çalışma koşullarının ideale yaklaşmasını sağlayarak çıktıların enbüyüklenmesine, diğer yandan da ürün ömür çevrimi maliyeti dikkate alınarak girdilerin enküçüklenmesine özen gösterir [25].

Ekipman verimliliğini arttırmanın temel ilkeleri, ayrıntılı ve doğru ölçümlerin yapılması, kesin önceliklerin belirlenmesi ve açık hedeflerin saptanması olarak tanımlanır. Bu çerçevede, aşağıdaki altı büyük kayıp önlendiği ölçüde ekipman verimliliği arttırılmış olacaktır [21, 23, 24]:

Duruş Kayıpları:

1. Ekipman arızası kayıpları: Bu kayıplar, arasıra oluşan veya kronik olan arızalardan kaynaklanır.
2. Kurma ve ayar kayıpları: Bunlar, bir önceki parti üretiminin sonundan, yeni partinin ilk kaliteli ürünün üretilmesine kadar geçen zaman içindeki jiglerin değiştirilmesinden, üretim alanının derlenmesi ve temizlenmesinden, yeni jiglerin ve kalıpların hazırlanması, takılması ve denenmesinden oluşan kayıplardır.

Hız kayıpları:

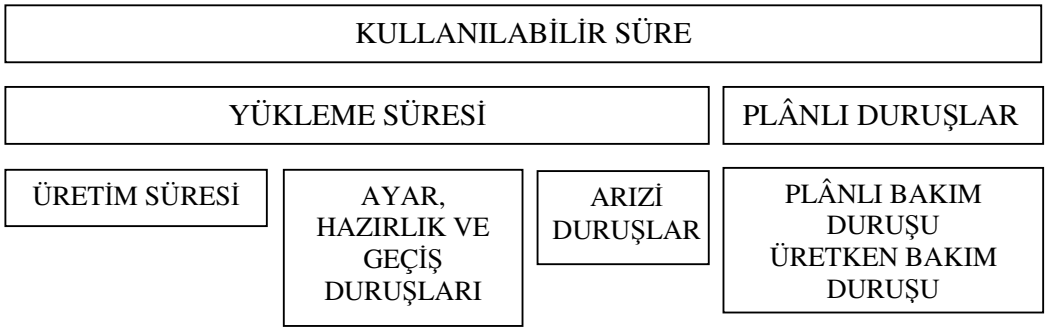
3. Boşta kalma ve küçük duruş kayıpları: Üretimin geçici bir sorun nedeniyle durması veya herhangi bir nedenle makinanın boşta beklemesi ile oluşan kayıplardır.
4. Düşük hızda çalışma kayıpları: Ekipman hızının olması gerekenden daha düşük olduğu zamanlarda oluşan kayıplardır.

Hatalar:

5. Kalite hataları ile ilgili kayıplar: Ürünlerde ortaya çıkan hatalar ve yeniden çalışmaların sonucunda oluşan kayıplardır.
6. İlk üretimdeki (start-up) kalite sorunları: Periyodik bakım, uzun süreli duraklama, tatiller ve öğle aralarından sonraki ilk üretimlerde oluşan kalite ve zaman kayıplarıdır.

Bakım-onarım sisteminin performansı ve yeterliliği konusunda bir değerlendirme yapabilmek için tesis ve makinaların etkinlik ve verimliliğini ölçmek gerekmektedir.

Böylece sistemin zayıf noktaları görülerek bunların giderilmesi için gerekli iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilebilir. Makina etkinliğini olumsuz yönde etkileyen üç etmen; duruşlar, üretim hızı düşüşleri ve kalite kayıplarıdır. Duruşlar Şekil 3.14'deki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 3.14 : Ekipman verimliliği [1]

Bakımsızlık nedeniyle oluşan ıskarta, hurda ve yeniden işleme kayıpları ile azalan duyarlılık sonucu oluşan hız kayıpları da ekipman verimliliğinin hesaplanmasında dikkate alınır [1].

Genel Ekipman Verimliliği (Overall Equipment Efficency-OEE) hesaplanırken, duruş kayıplarını değerlendirmek üzere Kullanılabilirlik Oranı'nın, hız kayıplarını değerlendirmek üzere Performans Oranı'nın ve kalite kayıplarını değerlendirmek üzere Kaliteli Ürün Oranı'nın çarpılmasıyla oluşan (3.1) ifadesi kullanılır.

OEE = Kullanılabilirlik * Performans * Kaliteli Ürün **(3.1)**
Oranı Oranı Oranı

Toplam üretken bakım, ideal üretim kapasitesindeki tüm kayıpları ölçmek için OEE değerini kullanır [21, 24].

3.6.4.1 Kullanılabilirlik oranı

Bir tesis veya makinanın fiili üretim süresinin, kuramsal üretim süresine oranıdır. İfâde 3.2'de bu tanım matematiksel olarak gösterilmiştir. Kuramsal üretim süresi, planlı bakım süreleri dışında bir makinanın bir periyot içinde en fazla üretimde bulanabileceği süredir. Kuramsal üretim süresi yükleme süresi olarak da adlandırılabilir.

Kullanılabilirlik (%) = (Üretim Süresi / Yükleme Süresi) * 100 **(3.2)**

veya;

Kullanılabilirlik = (Yükleme Süresi – (Arıza + Ölçü Değişimi) * 100)) / Yükleme Süresi **(3.3)**

şeklinde ifade edilir [1, 7].

Yükleme Süresi:

Belirli bir periyot; bir gün veya bir ay içinde, ekipmanın net çalışabileceği zamanı ifade eder. Diğer bir ifadeyle toplam var olan süreden, işletme tarafından planlanmış duruşların çıkartılmasıyla elde edilen süredir.

Yükleme Süresi = Kullanılabilir Süre – Planlı Duruşlar **(3.4)**

Planlı duruşlardan kasıt; üretim planında yer alan üretken ve önleyici bakımlar için ayrılan süreleri ve varsa çay duruşları ile planlı yönetsel faaliyetleri (günlük işletme toplantıları vb.) içerir [1, 7].

Planlı Duruşlar = (Planlı Bakım + Üretken Bakım) Duruşları **(3.5)**

Örneğin; her gün çalışma süresinin 8 saat yani 480 dakika olduğu bir vardiyadaki makinada çalışan operatörün günlük planlı duruşlarının süresi 45 dk ise, bu durumda günlük yükleme süresi (480 – 45 =) 435 dakika olarak hesaplanır.

Üretim Süresi:

Yükleme süresinden, ekipman duruşunun (üretim dışı süre) çıkarılması ile hesaplanan süre değeridir. Başka bir ifadeyle ekipmanın fiili olarak üretimde olduğu süreyi gösterir. Ekipman duruşu ise arızalardan, kurma, ayar, hazırlık, bir üründen başka bir ürüne geçme ve kalıp değişimlerinden vb. ileri gelen kayıpları içermektedir [1].

Üretim Süresi = Yükleme Süresi – Duruş Süresi **(3.6)**

Yükleme süresi için verilen örnekle sürdürürsek; bir üretim makinasında 25 dakikalık bir arıza ve 30 dakikalık bir ölçü değişiminin vardiya içinde gerçekleştiğini varsaydığımızda, günlük çalışma süresi (435 – (25+30) =) 380 dakika olarak hesaplanır. Bu durumda üretim makinasının kullanılabilirlik oranı ifade 3.2' ye göre şöyle hesaplanabilir:

Üretim süresi = 380 dakika

Kayıplar (duruş süreleri) = 25 + 30 = 55 dakika

Yükleme süresi = 435 dakika

Kullanılabilirlik = (380 / 435) * 100 = % 87,4 (hassas veri esastır)

Yukarıda hesaplanan kullanılabilirlik oranı, çalışma alanından toplanan ham verilerin hassas ve doğru olması durumunda güvenilir bir rakamı göstermektedir. Bununla beraber, ekipmanın gerçek çalışması ile ilgili kayıtların hassasiyeti şirketlere bağlı olarak değişmektedir. Genelde bu rakamlar kayıt edilmemektedir [7].

Ekipmanın çalışma koşulları, yalnızca kullanılabilirliğe dayandırıldığı zaman hassas olarak yansıtılmaz. Kullanılabilirlik hesabı, altı büyük kayıptan yalnızca duruş süresini hesaba katmaktadır. Kullanılabilirlik hesabında, hız kayıpları, hatalı malzeme kayıpları gibi diğer kayıplar hesaba katılmamaktadır. Oysa, ekipmanın gerçek çalışma koşullarını tam ve duyarlı olarak belirleyebilmek için altı büyük ekipman kaybının da hesaba katılması gerekir. Bu nedenle performans verimliliği de hesaplanmalıdır. Bunun yanında kullanılabilirlik oranının da genelde en az % 90 olması istenir [1, 21].

3.6.4.2 Performans oranı

Performans oranı, üretim hızı oranı ile net üretim oranının çarpımı sonucu elde edilmektedir. Bu durumu şöyle ifade edebiliriz:

Performans Oranı (%) = Üretim Hızı Oranı * Net Üretim Hızı Oranı **(3.7)**

Üretim hızı oranı, ideal hız (tasarlanan ekipman kapasitesine dayanan) ve fiili üretim hızı arasındaki farkla ilgilidir.

Üretim Hızı Oranı = Kuramsal Çevrim Süresi / Fiili Çevrim Süresi **(3.8)**

Net üretim oranı ise, belirli bir zaman diliminde verilen hızın korunma oranını ölçer. Kayıtlara geçirilmemiş küçük sorunlar ve yavaşlama kayıpları ile kaydı tutulmuş ufak duruşları içerir. Özetle bu oran, genelde gözardı edilen küçük duruşların da ekipmanın da toplam etkinlik oranının içerisinde yer alabilmesi için hesaplanmaktadır [1, 7, 21].

Net Üretim Oranı = Fiili Üretim Süresi / Üretim Süresi **(3.9)**

Bu durumda net üretim oranı ifadesinde yer alan fiili üretim süresinin matematiksel ifadesini de açıklamamız gerekmektedir:

Fiili Üretim Süresi = Üretilen Miktar * Fiili Çevrim Süresi **(3.10)**

İfâde 3.7'de verilen performans oranında net üretim hızı oranı ve üretim hızı oranı yerine ifade 3.8, 3.9 ve 3.10'daki eşitlikler yazılıp sâdeleştirmeler yapılırsa aşağıdaki ifade elde edilmektedir:

Performans Oranı = ((Kuramsal Çevrim Süresi * Üretilen Miktar) / Üretim Süresi)* 100 **(3.11)**

Örneğin; üretilen parça başına kuramsal çevrim süresi 0,5 dk olup, günlük 500 parça üretimi yapıldığında ve üretim süresi 400 dk ise;

Performans Oranı = (0,5*500) / 400 = % 62,5

olarak hesaplanır. Performans oranının (verimliliğinin) genelde en az % 95 olması istenmektedir [21].

Performans oranı, verilen süre üzerinden, verilen hızın korunmasını ölçer. Bununla birlikte bu değer bize, var olan hızın tasarımdaki standart hızdan daha mı yüksek yoksa daha mı düşük olduğunu söylemeyebilir. Bu, ekipmanın düşük hızda çalıştığı sürelere rağmen çalışmasının dengeli olup olmadığı söyler [1, 26].

3.6.4.3 Kaliteli ürün oranı

Deneme üretimi (başlangıç üretimi) ve normal üretim sırasında ortaya çıkan standartlara uymayan ürün miktarı düşüldükten sonra bulunan sağlam ürün miktarının, toplam ürün miktarına oranıdır.

Kaliteli Ürün Oranı = (Standartlara Uygun Üretim Miktarı / Toplam Üretim Miktarı) * 100 **(3.12)**

Standartlara Uygun Üretim Miktarı = Toplam Üretim Miktarı – (rejime ulaşma kusurları + süreç kusurları + yeniden işleme) **(3.13)**

Kaliteli ürün oranı gözönüne alındığında görülüyor ki makinada üretim sırasında çıkan ıskarta ve hatalı mallar da o makinanın verimliliğini etkileyen kayıplar arasındadır.

Örneğin, üretilen 400 parçanın 392 tanesi standartlara uygun parça ise;

Kaliteli Ürün Oranı = (392 / 400) * 100 = % 98

olarak hesaplanır.

Şu ana kadar verilen örnekler ve hesaplamalar gözönüne alınırsa, Genel Ekipman Verimliliği (OEE);

OEE = 0.874 * 0.625 * 0.98 = % 54 olarak bulunur.

Tüm bu çalışmalardan anlaşılacağı gibi kullanılabilirlik oranı %87,4 olmasına rağmen genel ekipman verimliliğinin gerçek hesaplanmasında aslında tam etkinlikle kullanılmadığı, hattâ %50'yi biraz geçmiş olduğu görünmektedir. Kötü durumda bulunan bir şirkette kullanılan ekipmanların ancak kendi verimliliklerinin yarısı veya daha altında çalıştığı bir gerçektir [21, 24].

Sonuç itibariyle, yukarıdaki örnekte açıklandığı üzere TPM, genel ekipman verimliliği ölçümünü; kullanılabilirlik, performans oranı, kaliteli ürün oranı değerlerinin birbiriyle matematiksel olarak çarpılması yoluyla gerçekleştirir. Bu şekilde ekipmanın gerçek çalışma koşullarını tam ve hassas olarak belirtebilmek için altı büyük ekipman kaybının tümü hesaba dahil edilmiş olur. Toplam ekipman verimliliğinin bu ölçümü, ekipman çalışmasının zaman, hız ve kalite etmenlerini birleştirir ve bu etmenlerin, katma değeri nasıl arttırdığını gösterir. Şekil 3.15, ekipmanda OEE' nin hesaplanmasını göstermektedir.

3.6.4.4 OEE ideal değerleri

OEE' de alt sınır %85 civarı olarak öngörülmektedir. OEE değeri %85'i aşan firmalar TPM ödülü almış bulunmakta ve bu firmalarda üretkenlik artışlarının %50 civarında olduğu, hattâ %70'e de ulaştığı görülmektedir [24].

%85 OEE değerine ulaşılabilmesi için, deneyimlere dayanılarak elde edilen ideal koşullar, en az aşağıdaki gibi olmalıdır:

- Kullanılabilirlik Oranı : %90'dan büyük
- Performans Oranı: %95'den büyük
- Kaliteli Ürün Oranı: %99'dan büyük

Bu durumda hesaplanan OEE = 0,90 * 0,95 * 0,99 = %85 olacaktır [1].

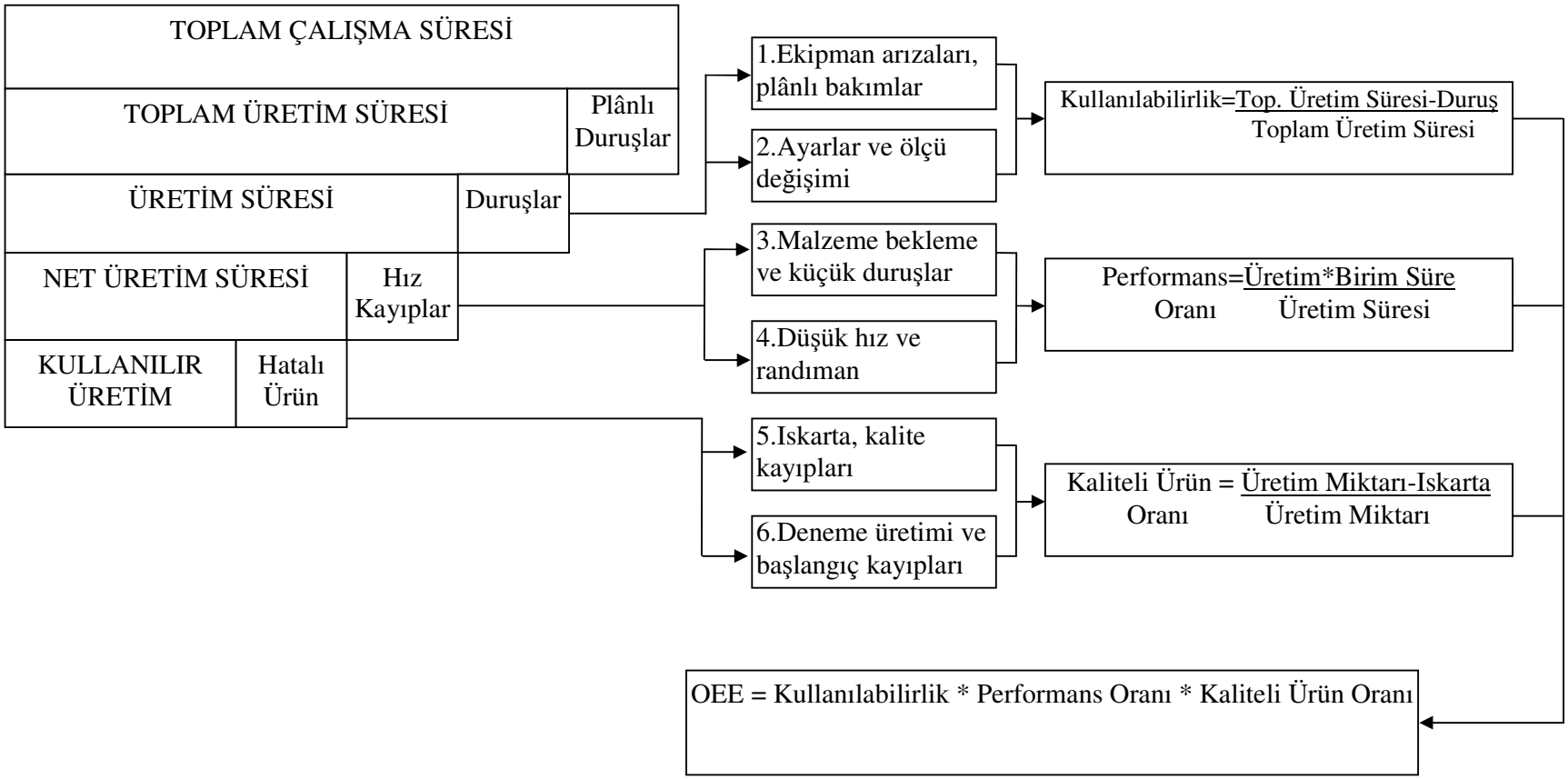
Ekipmanın toplam etkenliğindeki bir artış, paralelinde üretkenlikte de bir artışı getirmektedir. Var olan etkinlik oranının % 50 olan değerini, ideal durum olan % 85'e yükseltirsek, üretkenlikteki artış % 70'i dahi bulabilir.

En uygun genel ekipman verimliliği izlenmek isteniyorsa, aşağıdaki iki etmen büyük önem taşımaktadır:

1. Ekipmanın çalışma kayıtlarını hassas olarak tutarak, uygun bir yönetim ve kontrol sağlamak gerekir.

2. Ekipman çalışma koşullarının ölçümü için hassas bir ölçek tasarlamak şarttır.

TPM, OEE'nin bu ideal değerlere ulaşmasını sağlayan araç ve yöntemler kümesi sunmaktadır. İdealden ve beklenenden olan tüm sapmaların bilinmesi, güvenilirlik merkezli bakım analizinde önceliklerin belirlenmesini de sağlar [1, 7].



Şekil 3.15 : Genel ekipman verimliliğinin (OEE) hesaplanması [1]

4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ BAKIM YÖNETİM SİSTEMLERİ

4.1 Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sistemleri Tanımı

Gelişen teknoloji ile bilgisayarların yaşamımızın hemen her alanında kullanıldığı çağımızda, bakım konusunun bu eğilimden etkilenmemesi olanaklı değildir. Veri, stoklama, veri analizi, veri değerlendirilmesi ve raporlanması sözkonusu olduğunda, bilgisayar kullanmanın getirdiği üstünlükler gözardı edilemez boyutlara ulaşmaktadır.

Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sistemleri (Computerized Maintenance Management Systems, CMMS) kısaca, endüstriyel bakım işlemlerininin bilgisayar ile planlanması, yürütülmesi, izlenmesi ve kontrolü amacıyla endüstri işletmelerinin gereksinimlerine yanıt verebilecek şekilde hazırlanmış modüler, bileşen bazlı yazılımlar olarak tanımlanabilir. Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi ile bir ekipmanın satın alınmasından kullanılamaz duruma gelene kadar üzerine uygulanan her türlü bakım operasyonunun planlanması ve gerçekleştirilerek kayıt altına alınmasını kolaylaştırdığı için gereklidir [7].

CMMS bazısı operasyonel düzeyde, bazısı işletme düzeyinde ortaya konan bakım yaklaşımlarının işletmenin politikası doğrultusunda uygulanması ve yönetilmesi için bir araçtır. Her şeyden önce CMMS, "Kuruluşun Varlık Yönteminin" (Enterprise Asset Managment - EAM) bir parçası olarak düşünülmelidir [27].

Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemleri, bakımın zaman içinde gelişerek bir evrim geçirmesi ile birlikte bakım çalışmalarını planlı ve sistematik bir şekilde gerçekleştirmektedir.

Orta ölçekli bir işletmede dahi büyük miktarlarda verinin toplanması ve işlenmesi gerekmektedir. Ayrıca bu verilerin doğruluğu ve güncelliği de en iyi şekilde gerçekleşmelidir. Bilgisayar destekli bakım sistemini üç ana kısımda toplayabiliriz [1]:

1. Girdiler

Girdiler, rutin ve özel olanlar şeklinde iki grupta toplanabilir. Rutin olanlar; iş emirleri, işçilik, malzeme ve parça gereksinim listeleri, bakım yönergeleri vb.'dir.

Özel olanlar ise, diğer işletmelerle olan maliyet karşılaştırmaları, arıza süresi dağılımları, zaman etüdü bilgileri vb.'dir. Özel bilgiler, özel raporların çıkartılmasında kullanılır [1].

2. Dosyalar

Dosyalar master ve günlük hareket dosyaları şeklinde ele alınmakta, makinaların kapasite, fiyat, yaş, kapladığı alan vb. bilgiler bir master dosyada; yedek parça, alet ve malzemelerle ilgili tanım, fiyat, güvenlik stoğu, satın alınan firmalar vb. bilgiler diğer master dosyalarda; bakım personeli ile ilgili, ad, yaş, deneyim, vardiya, görev ünvanı, ücret ile ilgli bilgileri de başka bir master dosyada tutulmaktadır. Öte yandan stok hareketleri, arızi ve planlı bakım faaliyetleri, iş emirleri gibi günlük fiili işlem kayıtları, gnlük hareket dosyalarında tutulmaktadır [1].

3. Çıktılar

a) Önleyici Bakım Modülü:

Dosyalardaki veriler ışığında belirlenmiş öncelik kurallarına göre değişik makinalara ilişkin planlı bakım iş emirlerini çıkartır. Ayrıca belirli tip faaliyetler için malzeme ve parça listelerini oluşturur. Geleceğe yönelik bakım planlarını yaparak üretim bölümlerine gönderilmesini sağlar. Tamamlanmak üzere bekleyen işleri listeler, geciken işlerin yüksek öncelik alarak programa girmesini sağlar [1, 28].

b) Bakım Kontrol Modülü:

Verimlilik performans raporlarını, arızaların onarımı ile ilgili maliyetleri, planlı bakım maliyetlerini, bütçe aşımlarını gereğinde grafik gösterimlerle ve ileriye yönelik öngörülerde bulunarak oluşturur [1, 28].

c) Makina Kontrol Modülü:

Bakım kontrolü modülünde belirtilen toplu raporları, istenen bir makina için oluşturur. Makinanın performans rakamları ile planlı bakımın etkinliği karşılaştırılabilir [1, 28].

d) Özel Raporlama Modülü:

Simülasyon, yenileme kararları, kuyruk kuramı, proje planlama teknikleri (CPM, PERT vb.), stok kontrol vb. modellerin bakım sorununa uygulanması ile elde edilen çözümleri oluşturur [1, 28].

4.2 CMMS İşlevleri ve Yararları

CMMS' nin işletmelerdeki işlevlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz [29]:

- Malzeme yönetimi
- İş emri ve iş güvenliği yönetimi
- İş akışları standardizasyonu
- İşgücü yönetimi
- Satınalma yönetimi
- Demirbaş yönetimi
- Kestirimci bakım yönetimi
- Periyodik bakım yönetimi
- Doküman yönetimi

CMMS'nin yukarıda görülen faaliyetlerini personel ile elle (manuel olarak) yapmak istenmesi durumunda bu işlem için pek çok personel çalışması ve çok fazla zaman ayrılması gerekecektir. Bunun yerine 1-2 personel ile ve çok kısa sürede CMMS ile pek çok işlem birarada ve yanlışlık yapma olasılığını çok azaltarak yürütülebilmektedir [7].

CMMS'nin işlevlerini yerine getirmesi ile dolaysız olarak sağlayacağı yararlar aşağıdaki gibidir [1, 28]:

- İşletmedeki tüm bakım süreçlerinin teknik bütünlüğünü ve standardizasyonunu sağlama
- Verilere ulaşımı kolay, hızlı ve standart hale getirme
- Yönetim kademesine hızlı ve doğru bir biçimde teknik ve güncel raporlar sunarak stratejik kararların alınmasına destek olma

Her bir işletmenin CMMS kullanımı ile kazanacağı uzun vâdeli yararlar farklı olmakla birlikte temelde sağlanan yararlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir [7, 8]:

- Bakım-onarım maliyetlerini düşürür.
- Demirbaş ömrünü arttırır.
- Demirbaş kaynaklı kayıpları en aza indirir.
- Demirbaş verimini arttırır.
- İşletmedeki tüm üretim araçları ve donanım için standart bir bakım sistemi sağlar.
- İşletmedeki önemli donanımın her parçasının ayrıntılı tanımını sağlar.
- Çok fazla ayrıntılı olmayan, çoğunlukla kontrol listesi şeklindeki iş yönergeleri, çeşitli düzeylerdeki bakım elemanına yol gösterir. Bu yönergeler, deneyimli elemanların gerektiğinde kendi yargılarına göre hareket etmelerine olanak sağladığı gibi, fazla deneyimli olmayanların da görevlerini yerine getirmelerini sağlar.
- Geçmişe ilişkin maliyet ve onarım sıklıkları, istenildiğinde derhal elde edilebilir. Bu bilgiler onarım veya yenileme kararlarının en ekonomik düzeylerde verilmesinde yardımcı olur.
- İşletmedeki tüm donanımın güvenilir bir envanterini sağlar.
- Yöntemlerin, yolların ve bakım zamanlarının standardizasyonunu sağlar.
- Bakım programının etkili şekilde izlenmesini ve kontrolünü sağlar.
- Arızaların ve duruşların analizine olanak sağlar.

CMMS uygulaması ile elde edilen yarara bir örnek vermek gerekirse; Tüpraş İzmit Rafinerisi'nde programın devreye alınmasıyla fazla mesailerde % 56 azalma, yedek parça kullanımında % 45 azalma, personel sayısında % 15 azalmaya rağmen tamamlanan iş emri sayısında % 110'luk bir artış olmuştur. Tüm bu kalemlerin parasal karşılığı ise yaklaşık 1,5 milyon dolar/yıl'dır. Görülüyor ki CMMS uygulaması, bir işletmede pek çok alanda iyi sonuçların elde edilmesini sağlayarak bakım yönetiminin hedefe ulaşmasını sağlamaktadır [17].

CMMS, bakım yönetiminin stratejik olarak değerlendirilmesi için en büyük araçlardan biridir. Gelişen iş çevresi, fiziksel varlıklara çok büyük oranlarda yatırım yapan organizasyonlarda bakım işlevinin stratejik önemini arttırmıştır. Bakım yönetiminin dört stratejik yönü vardır:

1. Bakım servisinin seçimi
2. Organizasyon ve iş yapısı
3. Bakım yöntembilimi (metodolojisi)
4. Destek sistemleri

Bu stratejik yönler içersinde yer alan çok önemli bir etmen de insanlar arası bilgi akışı etmenidir. Bu etmen, CMMS ve e-bakım modeli ile çok daha verimli duruma getirilebilir [7].

CMMS, bakım operasyonlarının daha kısa sürede, daha kaliteli ve daha ucuza maledilerek gerçekleştirilmesi için veri sağlamak ve sürekli iyileştirme faaliyetleri için ipuçları vermek amacıyla kullanılacak en iyi araçtır [17].

Bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri, bir süreci tamamlamak için geçen toplam süre olan çevrim süresini düşürerek üretkenliği arttırmak için çok avantajlı ve kullanımı gittikçe artan bir yaklaşım tarzıdır. Çevrim süresi; duruş, müdahale, bakım, malzeme temini vb. süreleri içermektedir. Katma değer sağlamayan etkinlikleri belirlemek için CMMS kullanılarak, süreç çevrim süresi, sürekli gelişimin bir parçası olarak azaltılabilir.

CMMS'deki iş emri durumunu kullanarak yukarıdaki tüm aşamalarda ne kadar zaman yitirildiği çıkarılabilir. Toplam çevrim süresini kısaltmak için ana nedene inmek gerekir. Örneğin, ilk olarak planlamacı ve bakım yöneticisi işi atamalı ve parçaları sipâriş etmeli, iş tüm parçalar geldiğinde ve gerekli tüm koşullar sağlandığında başlatılmalıdır. Ayrıca kaynakları işe yaklaştırmak da çevrim süresini azaltabilir. Ayrıca CMMS'de özellikle yinelemeli işlemlerde planlanan/gerçekleşen sürelerin karşılaştırılması, alınan raporlar vasıtasıyla hangi tipteki iş gücünün hangi bölgelerde görevlendirilmesi gerektiği ile çevrim süresini azaltmak olanaklıdır [7].

CMMS yinelenen problemlerin saptanması ve bunun temelinde yatan nedene inilmesi için kullanılabilir. Örneğin aynı sorun nedeni ile yinelenen birtakım arızalar belirli nedenlerden kaynaklanıyor olabilir. CMMS verisinin temel nedenine inmek,

bazı zamanda bizi operatör veya bakım işçiliği konusuna yönlendirir. Bazı zamanlarda kalite sorunları daha deneyimli personel veya hattâ işletme dışı uzman kullanımını gerektirebilir [28].

Ayrıca CMMS, yedek parça tâkibi ve yönetimi ile tedârikçi tarihçesini kontrol ederek yedek parçaların kalite düzeyleri ile ilgili bir düşünce sahibi olunmasını da sağlar.

CMMS yüksek maliyet içeren operasyonların, malzemelerin, ekipmanların raporlanarak bu maliyetlerin bileşenlerine ayrılmasını ve bileşenlerinin karşılaştırılmasını sağlar. Maliyetlerin düşürülerek gelişme sağlanmasındaki en büyük fırsat alanlarından biri envanterdir. Ekipman yedek parçalarının daha iyi yönetilmesi sâyesinde envanter düzeylerinin düşürülmesi sağlanabilir.

Gelişen teknolojinin amaçlarından birisi veriyi doğduğu yerde kayıt altına alarak, yeni form ve ilişkilerin verinin müşterisi ve tedârikçisi arasında paylaşılmasını sağlamak ve tüm yaşam döngüsünde servis kalitesini arttırmaktır. Tele-servis denilen çağdaş iletişim sistemleri elbette ki bunu sağlayabilir, ancak müşteri ve tedârikçinin birlikte, aynı amaç doğrultusunda, yüksek bir işbirliği ile çalışması için yetersiz kalacaktır. Bunun yerine bilgiyi tek bir sistemde birçok müşterisi arasında anında paylaşmak, farklı araçlarla müşterisine taşımaktan her zaman daha verimli olacaktır ve sinerji ancak bu şekilde yaratılacaktır [28].

CMMS projelerinin ilerideki tahmini kazançlarını tam olarak hesaplayabilmek oldukça güç olmaktadır. Dolayısıyla yatırımın geri dönüşünün doğru olarak hesaplanabilmesi zordur.

- Bakım maliyetlerinde % 5'lik bir azalma, uygulamanın hemen başlangıcında kolaylıkla elde edilebilir [29].
- CMMS ile zaman içerisinde elde edilecek veriler, arızaların hangi süreçlerde ve sistemlerde yoğunlaştığının nokta bazında saptanmasını ve gerekli iyileştirmelerin yapılmasını temin eder. Bu nedenle ekipman ve tesis kullanılabilirliğindeki artışın salt başlangıç için % 5 dolayında arttırılması, gerçekçi ve elde edilebilir bir amaç olur [29].
- CMMS ile ambar stoklarının daha yakından ve sağlıklı izlenmesi, gereğinden fazla stok tutmayı önleyecek ve "belki bir gün gerekir" anlayışı ile yedek parça temininin önünü alacaktır. Yapılan çalışmaların sonuçlarından elde edilen

verilere göre, başlangıç aşamasında % 8'lik bir stok azaltma hedefi gerçekçi ve ulaşılabilir olmaktadır [29].

4.3 CMMS Uygulama Yöntemleri

4.3.1 Genel Bilgi

CMMS, değişik işletmelerin ve sektörlerin gereksinimlerine yanıt verebilecek şekilde hazırlanmış, modüler, bileşen bazlı ürünlerdir. Bu nedenle her CMMS'nin her işletmedeki uygulanışı kendine özgü olmak durumundadır. Her işletmenin CMMS kullanmak istemesinin nedeni, diğerlerinkinden az ya da çok farklıdır ve CMMS uygulanma planları, bu istekleri en kısa zamanda gerçekleştirecek ve bu süreyi uzatacak gereksiz ayrıntılardan uzak kalacak biçimde hazırlanmalıdır.

Her ne kadar tüm CMMS uygulamaları birbirinden farklı olsa da tüm bu değişik yöntemler, kabaca üç ana grupta incelenebilirler:

1. Hızlı uygulama
2. Tipik uygulama
3. Tam uygulama

Elbette bu üç grup içerisinde de çok geniş bir farklılaşmalar yelpazesi bulunmaktadır [7].

Ancak CMMS kurulumlarının nadiren sabit kaldığı unutulmamalıdır. Genellikle bu tip sistemler ilk kurulumun ardından yeni birtakım hedefleri gerçekleştirmek üzere ikinci ve üçüncü kademe projelere maruz kalırlar. Bu sâyede birinci evre olarak en yaşamsal özelliklerin, olanaklı olduğunca hızlı yaşama geçirilmesi sağlanır ve daha sonra da işletmenin belirlediği hedefler doğrultusunda daha az kritik ama yararlı modül ve uygulamalar zaman içerisinde uygulamaya dahil edilerek sistem geliştirilir ve yararlılığı arttırılır.

4.3.2 Hızlı uygulama

Hızlı uygulama yöntemindeki bir kurulum ile işletme, CMMS'in yararlarını neredeyse hemen görecektir. Bu yöntemin hızlı olmasının nedenleri; çalıştırılacak modül sayısının diğer yöntemlere göre az ve sisteme girilmesi gereken ayrıntı bilgilerin en az düzeyde olmasıdır.

CMMS'nin hızlı uygulanmasının ana hedefi işletme için öncelikli işlevinin işletilmesi ve devreye alınması olmasıdır. Bunlara örnek olarak, koruyucu bakımlar ve stok kontrol verilebilir. Hangi uygulamalar seçilirse seçilsin bu tip bir uygulamanın en temel özelliği, çok çabuk bir biçimde yaşama geçirilmesi ve sistemin kısa zamanda yararlı veri üretmeye başlamasıdır.

Hızlı uygulamalar genellikle tek bir birim -örneğin stok (ayniyat), satınalma veya bakım birimleri- tarafından diğerlerini etkilemeden gerçekleştirilebilirler ve daha sonra diğer özelliklerin de yaşama geçirilmesi ile geliştirilirler [1, 7].

4.3.3 Tipik uygulama

CMMS tipik uygulamaları genellikle hızlı uygulama yönteminin tüm düşüncelerini içermekle birlikte çoğunlukla uygulamaların daha geniş kapsamlı kullanılması ve daha çok uygulama ve modülün yaşama geçirilmesini gerektirir.

Tipik uygulamalarda genellikle anahtar kullanıcılar program ile ilgili eğitim alırlar ve daha sonra kendi birimlerindeki diğer kullanıcıları eğitirler. Bu tip uygulamalarda işletmenin CMMS'nin hangi işlevlerini ağırlıklı olarak kullanacakları ve ilk evredeki hedefleri, ekran eğitimleri sırasında ortaya çıkar [1, 7].

Hızlı uygulamaya görece daha çok kişi ve birimin katılımıyla gerçekleşir ancak genelde bu tip projelerde başlangıç aşamasında hedefler net olarak belirlenip analiz ve tasarım çalışmalarını da içeren tam bir proje yaklaşımı uygulanmadığı için, birçok konuda başarıya ulaşamama riski bulunmaktadır [1, 7].

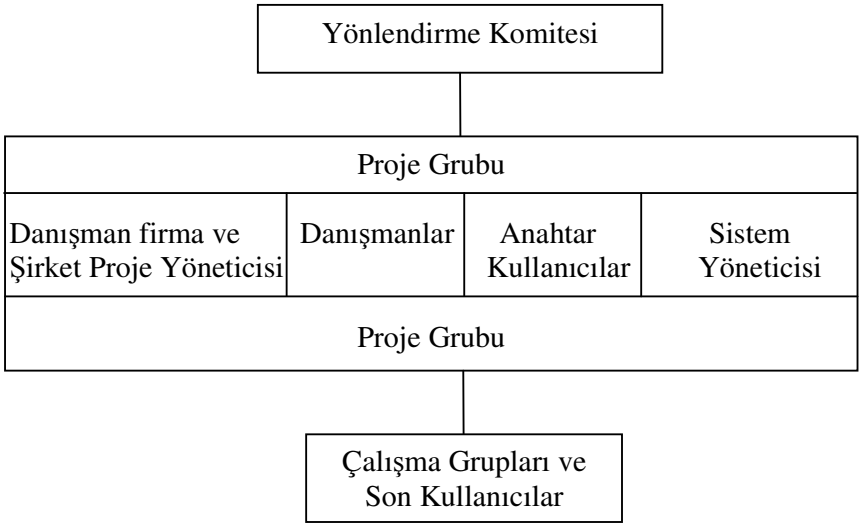
4.3.4 Tam uygulama

Tam uygulama, CMMS'nin işletmeye yararlı olacak tüm işlevlerin/modüllerin önceden belirlenerek hedeflerin çizilmesi ve bu işlevlerin tam bir proje yönetimi ve yöntembilimi ile uygulanmasıyla oluşur. Türkiye'de bu uygulama çoğunlukla danışmanlık desteği ile uygulanmaktadır.

CMMS tam uygulama yöntembilimi, proje ekibini baştan sona kadar hiç kopmadan, yüksek bir tempo ve verimlilik ile proje içerisinde tutarken, olanaklı olan en kısa sürede ekip üyelerini sistem çözümünün oluşturulmasına katmaktadır [1, 7].

4.3.4.1 Tam uygulama proje organizasyonu

Bakım yönetimi sistemi tam uygulama proje organizasyonu Şekil 4.1'de görüldüğü gibi üç düzeyli bir yapılanma ile yürütülür. İlk düzey, yönlendirme grubu düzeyidir. Bu grup, projenin genel olarak amaçlarını saptar, şirket modelini onaylar ve projeyi yönlendirici kararlar alır.



Şekil 4.1 : Bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi proje organizasyonu [7]

Bakım yönetim sistemi projelerinden elde edilen deneyim, projelerin başarısının, yönlendirme grubunun kalitesinden kaynaklandığını göstermektedir. Yönlendirme grubu, şirketin en üst düzey yöneticilerinden oluşur ve projeye şirket içerisinde sponsorluk görevi yapar.

- Yönlendirme grubu 4 haftada bir toplanır.
- Üyeleri üst yönetim, firma proje lideri ve danışman firma proje lideridir.

Proje organizasyonunun ikinci düzeyini proje ekibi oluşturur. Proje ekibi temel olarak şirket modelini yaratır, çalışma yordamlarını tanımlar ve planı yürütür. Proje grubu her hafta toplanır.

Proje organizasyonunun üçüncü düzeyini çalışma grupları oluşturur. Çalışma grupları gerektiğinde toplanır. Verilen görev çerçevesinde oluşturulurlar ve toplanırlar. Görev bittiğinde grup dağılır. Bu grubun üyeleri göreve göre belirlenir [28].

Danışman firmanın projedeki temel görev ve sorumlulukları aşağıdaki gibi belirlenmiştir [2, 28]:

1. Bakım yönetimi sistemi projesi, uygulama kalitesinden sorumludur.
2. Yöntembilim koruyuculuğunu yapar.
3. Proje planının yönetimini firma ile birlikte üstlenir.
4. Bütçenin izlenmesini sağlar.
5. Bilgi transferi yapar.

Bakım yönetimi sistemi projelerinde firmanın temel sorumlulukları şöyle tanımlanır [1, 7, 29]:

1. Firma projenin sahibidir.
2. Yönetim kararlılığı gösterir.
3. Proje amaçlarının koruyuculuğunu yapar.
4. Proje kaynaklarının ayrılmasını üstlenir.

Proje uygulama sürecinin başlangıcında karşılıklı olarak kesinleştirilen proje planı üzerinden proje ekibinin her bireyi, sorumluluklarını belirlenen tarihler itibarıyla yerine getirmek durumundadır. Aksi durumda yerine getirilmeyen her faaliyet proje uygulama sürecinin uzaması ile sonuçlanacaktır [8].

Tam uygulamalı bilgisayarlı bakım sistemi organizasyonunda yer alan birimler hakkında kısaca aşağıdaki bilgiler verilmektedir.

4.3.4.2 Danışman firma proje lideri

Proje lideri; yazılım işlevselliği bilgisi ve bakım yönetimi sistemi konusunda mesleki bilgi ve deneyime sahip, uygulama yöntembilimi ile proje yönetimi konusunda danışman firma tarafından sertifikalandırılmış bir uzmandır. Proje planının içerik ve takvim açısından uygulanma düzeyini denetleyerek ekip içerisinde firma proje yöneticisiyle birlikte eşgüdümü sağlar ve yönlendirme grubu toplantılarına katılır.

4.3.4.3 Uygulama danışmanı (Danışman firma)

Bakım yönetimi sistemi yazılımı; işlevselliği ve bilgisi ile her türlü sürecin CMMS üzerinde nasıl işleyeceği ile ilgili ayrıntı düzeyde katkı sağlar. Ekibe, yöntembilim,

proje süreci ve işlemler, bunların çıktıları ve kalite düzeyi konusunda bilgi sağlayarak, yönlendirir ve denetler. Proje ekibi içerisinde aktif rol oynar [7].

4.3.4.4 Teknik danışman (Danışman firma)

Bakım yönetimi sistemi paketine, teknik açıdan hâkim oluşu ile, gerekli sertifikasyonlara sahip bilgi teknolojisi uzmanıdır. Proje içerisinde, paketin yüklenmesi, yönetimi ve teknik açıdan sürdürülmesinden sorumludur. Paketin firmaya uyarlanması doğrultusunda arayüzlerin ve gereksinim duyulan sistem çıktıları, rapor ve formların yazılmasına teknik açıdan katılır. Ekibin sürekli üyesi değildir. Proje planında belirtilen zamanlarda ve gereksinim duyuldukça katkı sağlar [1, 7].

4.3.4.5 Firma proje lideri

Proje yönetimi nitelikleri ile CMMS'nin yaratılma sürecinde birinci derecede yönetim sorumluluğuna sahip, iş süreçlerine ve bunlar arasındaki bütünleşmeye hâkim, bilgi teknolojisi bakış açısı ile firma vizyonunun ve bilgi teknolojisinin stratejisinin belirlenmesinde rol oynayıcı bir kişidir. Çalışma gruplarının işlerini zamanında ve istenen kalitede yapmalarını kontrol eder ve eşgüdümler. Proje gereksinimlerini karşılayarak, ekibin ve şirketin proje üzerindeki motivasyonunu düzenler. Projenin firmadaki birinci derecede sorumlusudur. Tüm proje ekibi ve yönlendirme grubu toplantılarına katılır [7].

4.3.4.6 Firma sistem yöneticisi

Sistem yönetimi, firmadaki sistemin yönetimi, proje ile ilgili planlanan yatırımların zamanında gerçekleştirilmesi, sistemlerin çalışır durumda tutulması ve ince ayarından birinci derecede sorumludur. Bilgi teknolojisinde uzmandır. Proje ekibinin sürekli üyesidir [7].

4.3.4.7 Firma anahtar kullanıcıları

Yaptıkları iş ile ilgili mesleki deneyime sahip, firma sisteminin bütünleşme gereksinimlerini bilen, kuşbakışı bakabilme yeteneğine, iş ve bilgi teknolojisi bakış açılarına sahip kişilerdir. Proje kapsamına giren her alandan bir kişi katılır. Gerek firma şirket modelinin oluşturulmasında, gerekse sonraki aşamalarda aktif rol

oynarlar. Proje son kullanıcılara transfer edilene kadar, yaygın anlamda projenin sahibidirler [7].

4.3.5 Tam uygulama proje adımlarının incelenmesi

Çizelge 4.1'de; CMMS uygulamalarındaki yazılım paketinin satın alınmasından sonra yönlendirme komitesinin stratejik toplantılarının hemen ertesinde başlayan, proje adımları ve açıklamaları görülmektedir.

CMMS projelerinin yüksek bir tempoda, yoğun bir katılımla, yönetim desteğini arkasına alarak tam bir profesyonel proje yönetimi yaklaşımıyla değerlendirilmesi gerekir. Aşağıda bir CMMS projesinin amaçlarına ulaşması için önem taşıyan kritik etmenler bulunmaktadır [7, 8, 28]:

- Hedeflerin açık ve net olarak belirlenerek proje ekibi ve üst yönetim tarafından anlaşılması
- Görev ve süreçlerin açık olarak belirlenmesi
- Projenin üst yönetimce sahiplenilmesi
- Şirketin her kademesinin projeye katılımı ve desteği
- Kurulum proje takımı performansı
- Proje yönetimi performansı
- Danışmanlık kuruluşu desteği
- Verilerin doğruluğu
- Yazılım ve donanım uygunluğu
- Kurulum öncesi sistem analizinin yapılması
- Gerek kurulum, gerekse canlı kullanıma geçiş aşamalarında yeterli sayıda insangücünün çalışmalara yoğunlaşabilmesi.

Çizelge 4.1 : CMMS proje planının temel adımları

Proje Adımları	Açıklamalar
Kurum tarafında proje ekibi oluşturulması	Projenin ilk aşaması kurum tarafındaki proje ekibi üyelerinin belirlenmesidir. Bunlar anahtar kullanıcı ve sistem yöneticisini içerir.
Açılış toplantısı	Projenin bu aşamasında yönlendirme komitesi ve proje ekibinin katılımıyla proje başlatılır. Amaç ve hedefler açıkça ortaya konarak proje ekibindeki herkesin bunları anlaması sağlanır. Projedeki iletişim yöntemi, yazışma kuralları ve kilometre taşları ortaya konur.
Kavram eğitimi	Projenin bu aşamasında anahtar kullanıcı ve son kullanıcılara kavramsal eğitim verilir. Kavram eğitimiyle CMMS ve kurumsal varlık yönetimindeki temel kavramlar açıklanarak herkesin aynı dilden konuşması sağlanmaya çalışılır. Temel süreçler üzerinde konuşularak kavramsal iş kontrol modeli proje ekibine aktarılır.
Ön proje modelinin oluşması (Simülasyon 1)	
Var olan durum analizi	Bu analizde firmanın CMMS ile ilgili olabilecek var olan durumdaki tüm verileri ve süreçleri analiz edilerek raporlanır.
İstenilen durum analizi	Firmanın var olan durumda yürüttüğü tüm faaliyetlerin CMMS'de nasıl gerçekleştirileceği ve buna ilişkin yöntemler ortaya koyar. Bu çalışma sonucunda firmadaki verilerin ve bakım süreçlerinin CMMS'deki modellemesi yapılır ve raporlanır. Veriler üst yönetime snularak doğruluk değerlendirmesi yapılır.
Proje planının revize edilmesi	İstenen durum analizi sonucunda belirlenen hedef ve yöntemler, birçok zaman proje planının revize edilmesini gerektirir. Projenin bu aşamasında proje planında gerekli değişiklikler yapılır. Özellikle temel verilerin aktarımına kadar olan veri sağlama sürecindeki sorumluluklar ve termin süreleri belirlenir. Veri sağlama süreci başlatılır.
Anahtar kullanıcıların ayrıntılı eğitimi	
Kuramsal ve hızlı uygulama eğitiminin verilmesi	Projenin bu aşaması, anahtar kullanıcıların ilk olarak ekranlarla tanıştığı aşamadır. Bu aşamada standart ekran ve rapor eğitimleri verilir.
Veri kodlama şemalarının tanımlanması	Projenin veri kodlama şemalarının tanımlanması aşamasında verilerinsahipleri tanımlanarak veri kodlama kuralları belirlenir.
Bilgi sisteminin hazırlanması	Bu aşama, gerekli tüm form değişikliklerinin yapılarak raporların son haline getirilmesini içerir.
Nihai iş çözümünün onayı (Simülasyon 2)	Bu aşama, bilgi sisteminin hazırlanmasını tâkiben süreçlerdeki ayrıntılı senaryoların yazılarak bunların test edilmesini içerir.
Sistemin konfigüre edilmesi	Bu aşama, sistemin teknik olarak hazır duruma getirilmesini içerir. Bu aşamada tüm donanım, LAN altyapısı gözden geçirilerek nihai şeklini alır. Yazılım üzerinde simülasyon aşamasında ortaya çıkan düzeltme ve düzenlemeler gerçekleştirerek aktiflik sağlanır.
Temel verilerin aktarımı	Bu aşama, istenen durum analizi sonrasında başlatılan veri sağlama süreci sonucunda sağlanan verilerin doğruluk değerlendirmesinin yapılarak sisteme aktarılmasını ve testini içerir.
Son kullanıcı eğitimlerinin verilmesi	Bu aşamada anahtar kullanıcılar tarafından son kullanıcılara eğitim verilir.
İş sisteminin onayı (Simülasyon 3)	Bu aşamada yönlendirme komitesinin katılımıyla iş süreçlerinin doğruluk değerlendirmesi yapılır. Bunun sonucunda proje planında revizyon gerekiyorsa bu gerçekleşir. Proje planında revizyona gerek olmadığı takdirde projeyi devreye alma planı yapılır.
İş sisteminin devreye alınması	Bu aşamada ilk dinamik veriler sisteme girilerek canlı kullanıma geçirilir. Çıkan sorunçlar değerlendirilerek hızlı bir şekilde çözüm yolları aranır ve uygulanır.
Projenin kapanması	Proje kapanış raporu hazırlanarak bilginin devredilmesi ile birlikte proje organizasyonu dağılır.

5. GÜVENİLİRLİK MERKEZLİ BAKIM (RCM)

5.1 Genel bilgi

Son yirmi yıldır bakım, diğer yönetim disiplinlerine oranla oldukça değişmiştir. Bu değişim, dünya üzerinde bakım yapılması zorunlu olan fabrika, ekipman ve binalar gibi fiziksel varlıkların sayı ve çeşidindeki büyük artışa bağlıdır. Eskisine oranla çok daha karmaşık tasarımlara sahip olan bu varlıkların bakımı için yeni bakım teknikleri, bakım organizasyonları ve sorumluluklarda değişiklik gerekliydi.

Ayrıca, bakım değişen beklentilere yanıt vermelidir. Güvenlik ve çevreyi hangi ekipman arızalarının daha fazla etkilediği, bakımla ürün kalitesi arasındaki bağlantı ve fabrikanın kullanım oranını arttırarak giderleri azaltma konusundaki bilinç düzeyi artmıştır [1].

Bu değişiklikler, endüstrinin tüm alanlarındaki beceri ve davranışların sınırını test etmektedir. Bakımcılar da, mühendisler ve yöneticiler gibi yeni düşünce ve davranış uyarlamaları edinmişlerdir. Aynı zamanda, bakım sistemlerindeki kısıtlar, bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasına rağmen, artarak belirginleşmiştir.

Böyle bir ortamda, yöneticiler yeni bakım yaklaşımları arayışına girmişlerdir. Her zaman büyük karışıklıklara neden olan yanlış başlangıç ve ölü bitişleri önlemek istemektedirler. Bu amaçla geliştirilen stratejik çerçevelerden biri de "güvenilirlik merkezli bakım" anlayışıdır. Eğer doğru uygulanırsa güvenilirlik merkezli bakım, fiziksel varlıklarla, onları kullanan ve bakımını yapan kişiler arasındaki iş ilişkilerini değiştirebilmektedir. Ayrıca, daha hızlı ve güvenilir yeni varlıkları verimli bir şekilde hizmete almaktadır [11, 30].

5.2 Güvenilirlik Merkezli Bakımın Gelişimi

Bakımın tarihçesi, 1950'li yıllarda "Arıza Bakımı" kavramı ile başlayıp, sonraki yıllarda koruyucu bakım, verimli bakım yaklaşımları ile sürmüştür. Koruyucu bakımın ortaya çıkmasından önce şirketler, ekipmanın arızalanmasından sonra arızanın giderilmesi için arızi bakım yöntemini uygulamışlardır. Sonradan Japon

firmaları, Amerikalıların uyguladığı koruyucu bakım kavramını benimseyerek ekipman arızalarını, önemli sayılabilecek ölçüde düşürmüşlerdir. İleriki yıllarda koruyucu bakım yaklaşımı da çağdaş dünya sanayisinde ortaya çıkan yeni talepleri karşılayabilmek üzere değişim göstermiştir. Bu değişimlerden biri, koruyucu bakımın bir parçası olarak yapılan ve ekipmanı ilk durumuna getirici rol oynayan onarım tipinin de ötesinde bir yere sahip olan düzeltici bakım (CM: Corrective Maintenance) kavramı ile birlikte oluşmuştur. Düzeltici bakım, aynı arızanın ileride yeniden oluşma olasılığını düşüren, onarımları özendirici rol oynayan bir yöntemdir. Diğer bir değişim de; bakımı daha kolay, daha iyi bir ekipman imal edebilme amacına yönelik bir çaba içinde tasarım aşamasını da bünyesine dahil etmiş olan bakım koruması (PM: Maintenance Preventive) kavramı ile birlikte oluşmuştur. Son olarak; PM ve CM yaklaşımları bir araya getirilerek PM (Productive Maintenance) adı ile bilinen, ancak bu kez verimli bakım anlamına gelen yeni bir yaklaşım tipine dönüştürülmüştür [10].

1960'lı yıllarda A.B.D.'de karmaşık makina ve aygıtların güvenilirliği ile ilgili yapılan çalışmaların sonucu olarak, havacılık endüstrisinde "Güvenilirlik Merkezli Bakım" (RCM: Reliability Centered Maintenance) stratejisinin temelleri atılmıştır. Başlangıçta salt havacılık endüstrisinde kullanılan RCM, zamanla güvenliğin ön planda olduğu nükleer santraller, petrokimya tesisleri, boru hatları gibi endüstriyel alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde RCM'nin kullanım alanı hızla genişlemektedir [11, 31].

RCM, makina durumuna bağlı bakım (Kestirimci Bakım), çalışma zamanına bağlı periyodik bakım ve arıza sonrasında uygulanan bakım stratejilerinin en uygun birleşimini araştırır ve uygular [31].

Genel olarak bakımın evrimi 1930'lardan beri 3 kuşak gerçekleşmiştir. Güvenilirlik merkezli bakım ise hızla 3. kuşağa dayanan bir temel haline gelmektedir. Ancak bu kuşak, 1. ve 2. kuşakların anlaşılmasıyla anlam kazanmaktadır. Aşağıda tarihsel düzen içinde RCM'nin gelişmeleri verilmektedir [11]:

- 1950'ler: Geleneksel bakım yaklaşımlarının savaş sonrası çağdaş uçaklar için yetersiz olduğuna karar verildi.
- 1960'lar: FAA uçak endüstrisi güvenilirlik programı – FAA Üretimciler Bakım Yönetimi Grubu

- 1970'ler: Boeing 747'ye MSG 1 uygulandı, DC-10, L-1011 tipi uçaklara MSG 2 uygulandı.
- 1980'ler: RCM United Airlines tarafından geliştirildi (orijinal karar diyagramı yayınlandı.). MSG 3 geliştirildi ve B-757, B-767 tipi uçaklara uygulandı.
- 1990'lar: RCM nükleer santral endüstrisine uygulandı. RCM farklı birçok endüstride uygulanmaya başlandı (karar diyagramına çevre eklendi).

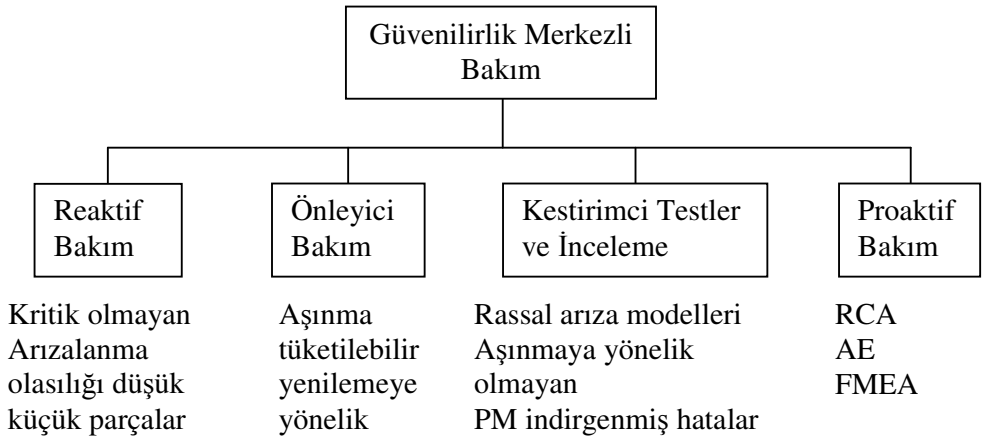
RCM, 1950'li yıllarda karmaşık ekipmanları içeren başlıca güvenilirlik çalışmaları sonucu uçak endüstrisinde evrimleşmiştir. Klasik yaklaşımdaki gibi, RCM'de de her parçanın hatasız ve tam çalıştığı "doğru bir yaş" vardır [10].

5.3 Güvenilirlik Merkezli Bakımın (RCM) Tanımı

RCM'nin tanımını, bakım kavramı tanımıyla birlikte ele almak gerekir. Bakım, fiziksel varlıkların yapmaları gereken işleri sürdürmeyi sağlamak ve güvence altına almak demektir. Bu tanım ışığında RCM, herhangi bir fiziksel varlığın kendi çalışma sistemi içerisinde bakım gereksinimlerinin belirlenmesini sağlayan süreçtir [10].

RCM, ekipmanın işlevselliği, arıza modları ve etkileri analizi ve arıza sonuçlarının değerlendirilmesi ile gerekli bakım işlemlerinin ve bu işlemlerin yapılması gereken zaman aralıklarının belirlendiği yöntembilimdir [26].

RCM süreci, arıza modları ve etkileri analizinin (FMEA) mühendislik yaklaşımıyla değerlendirilmesini gerektirir. Arıza Modları ve Etkileri Analizi (FMEA), ürün ve süreçlerdeki var olan ve olası hatalara ve sorunlara karşı önlem almak için oluşturulan bir yöntemdir. Bu yöntem, sürecin işlevi ve güvenilirliği açısından hataların etkisini ve bunları önlemenin adımlarını saptamaya yarayan sistematik bir yaklaşımdır. Sistem, tasarım, süreç veya hizmette oluşabilecek hataların analizi ile değerlendirmesini ve azaltılmasını hedefleyen bir yöntemdir.RCM, genel bakım ve üretim stratejisinin mükemmel bir parçası olabilir (Şekil 5.1) [26].



Şekil 5.1 : RCM süreci [7]

5.4 Güvenilirlik Merkezli Bakım ile İlgili Literatür Araştırması

Özellikle son on yılda Güvenilirlik Merkezli Bakım hakkında yapılan çalışma sayısının artmış olduğu görülmektedir. İmalat sektörü başta olmak üzere, farklı alanlarda da değişik ölçekte uygulamaları olan RCM anlayışı ile ilişkili, özellikle yaklaşımın ilkeleri, ayrıntıları ve uygulamaların firmalara uyumlandırılması ve getirileri konusunda çalışmalar vardır. Bu bölümde, RCM konusunda ulusal ve uluslararası bazda yapılan bazı çalışmalara ilişkin bilgiler sunulmuştur.

Rausand (1998), RCM yaklaşımının yapısını incelediği çalışmasında, RCM'nin birçok sistematik bakım yaklaşımı içinde işletme yararı için bir çatı oluşturduğunu irdelemiştir. Çalışmada güvenilirlik modelleri için gerekler ve bilgiler ön plana çıkartılmaktadır. RCM uygulayıcıları ile bilim adamları arasında yapılan çalışma ile bakım optimizasyonu ile RCM için gelecekte bazı değişikliklerin olacağı vurgulanmaktadır [30].

Swanson (2001), bakım stratejileri ve şirket performansı arasındaki ilişkilerin sonuçlarını incelediği çalışmasında, fabrika yöneticileri ve bakım yöneticileri ile kapsamlı bir anket çalışması gerçekleştirmiş, proaktif ve agresif bakım (RCM) stratejileri ile performans arasındaki ilişkiyi faktör analizi kullanarak irdelemiştir [2].

Mokashi ve diğ. (2002), RCM uygulamaları sırasında karşılaşılan sorunları incelediği çalışmasında, denizcilik endüstrisi ve farklı endüstriler arasındaki süreç farkları ve sorunlardan yararlanmıştır. Özellikle denizcilik endüstrisinde oluşan arızaların diğer

bakım yaklaşımları ile ortaya çıkaracağı maliyet ve giderilemeyen sorunların RCM ile daha ekonomik ve güvenilir bir sistem haline geldiği ön plana çıkarılmıştır. Ancak her sistemde olduğu gibi RCM'nin de uygulamadaki sorunları (RCM ilkelerinin pratiğe geçirilmesinin zaman zaman sorun oluşturması) bulunduğu belirtilmektedir [32].

Asenkron motorlar endüstride en fazla kullanılan elektrik makinası tipidir. Elektrik motorlarındaki anormal durumun erken tanısı ise endüstriyel süreçlerin ekonomik ve güvenli işletimi bakımından son derece önemlidir. Son yıllarda endüstriyel sistemlerdeki izleme ve tanı çalışmaları, yeni ve güvenilir bakım teknolojilerini geliştirme yönünde artmaktadır. Bu konu üzerinde çalışan Şeker ve Ayaz (2002), RCM ve endüstriyel süreçlerdeki durum izleme ve öngörülü bakım teknolojilerini incelemişler ve yayınlarında bu konular hakkında bilgi sunmuşlardır [33].

Gabbar ve diğ. (2003) çalışmalarında CMMS ile bütünleştirilen RCM süreci mekanizması ve sisteminin tasarımı üzerine incelemeler yapmışlardır. Bu çalışmanın sonunda ekipman veya tesis bakımının optimizasyonu için etkili yolun çeşitli bakım yaklaşımları ve işlevsel sistemlerin birleştirilmesi ile sağlanabileceğini öne çıkarmışlar ve bunun için RCM sürecini önermişlerdir. Uygulamalarında CMMS bazlı RCM süreci ile optimize edilen bakım sisteminin klasik bakım yaklaşımlarının üzerinde bir verime sahip olduğunu belirtmişlerdir [34].

Zhou ve diğ. (2007), kusurlu bakım programından ötürü yıpranmaya başlayan bir sistem için RCM modeli önermiştir. Sistemin sürekli izlendiği ve durumunun değişken olmadığı varsayılmıştır. Sistemin güvenilirliği, R sınır değerine yaklaştığı zaman bakım işlemi gerçekleştirilmektedir. Yaptıkları simülasyonlar doğrultusunda, RCM uygulandığında sistemin bakım aralıkları azaldığı gözlenmiştir [16].

Çebi ve diğ.'ne (2008) göre, Güvenilirlik Merkezli Bakım Yöntemi, süreçte yer alan tüm araçların aynı öneme sahip olmadığı ilkesine dayalı olup, yöntemin üstün yanları şunlardır: Gereksiz kontrol ve bakım faaliyetleri elenir. Böylece bakım maliyeti düşer, kontrol sıklığı azaltılır. Beklenmedik takım/donanım bozulmaları azdır, kritik donanımlar üzerine yoğunlaşmayı gerektirir. Donanım güvenilirliği artar ve kök neden analizi yapılabilir. İlk yatırım maliyetinin yüksek oluşu, eğitimli eleman ve donanım maliyetinin varlığı, yöntemin sağlayacağı mali kârın yönetim tarafından kolaylıkla fark edilememesi, yöntemin zayıf yönleridir [35].

Cheng ve diğ. (2008) araştırmalarında, RCM'nin etkinliğini arttırmak için, yapay zekâ teknolojisini RCM analizi ile birleştirmiş ve oluşturulan akıllı RCM analizini (IRCMA) incelemiştir. IRCMA'nın temelinde, RCM analizinin eski kayıtlarının referans olarak alınıp, yeni analiz sırasında kullanılması yatar. Bu şekilde RCM analizindeki karmaşık ve yinelenen görevler basitleştirilebilir. IRCMA, RCM analizinin etkinliğini ve kalitesini arttırır [36].

5.5 Güvenilirlik Merkezli Bakımda Yedi Temel Soru

Güvenilirlik merkezli bakım süreci, varlık ve sistemin bakım gereksinimlerinin belirlenmesi için aşağıdaki yedi temel soruyu yanıtlandırmalıdır [10, 30, 32]:

1. Demirbaşın kendi operasyon sistemi içinde işlevleri ve bu işlevleri ile ilgili performans standartları nedir ?
2. İşlevlerini yerine getirirken hangi yolların kullanımında hata verirler ?
3. Her işlevsel arızaya ne neden olur ?
4. Her arıza oluştuğunda ne olur ?
5. Her bir arıza, ne açıdan sorun oluşturur ve ne gibi sonuçlar doğurur ?
6. Her bir arızayı tahmin etmek ve önlemek için ne yapılabilir ?
7. Eğer uygun bir proaktif bakım işlemi bulunamazsa ne yapılması gereklidir ?

RCM yaklaşımında demirbaşın kendi operasyon sistemi içerisinde değerlendirilmesi çok önemli bir konudur. RCM'nin birincil hedefi, ekipman işlevinden çok, içerisinde bulunduğu sistemin işlevini korumaktır [10].

RCM yaklaşımı içerisinde değerlendirilen Etkinlik Merkezli Bakım (ECM), sistem işlevlerine ve müşterinin bu sistemden beklentisine odaklanarak, işin biçimi ve büyüklüğü ne olursa olsun organizasyondaki bakım yönetimi tekniklerinin sürekli geliştirilmesi için çaba harcar [30]. Şekil 5.2'de RCM sürecinin ayrıntılı şeması verilmiştir.

5.6 Güvenilirlik Merkezli Bakımın Temel Adımları

RCM sistem demirbaşları değil, sistem fonksiyonu üzerine odaklanır. RCM'nin temel amacı, sistemin en önemli işlevlerine odaklanarak ve gereksiz bakım işlemlerini ortadan kaldırarak, bakım maliyetlerini en aza indirmektir [10].

Güvenilirlik merkezli bakımın temel adımları aşağıdadır:

1. Sistemlerin seçimi ve tanımlanması
2. İşlevlerin ve performans standartlarının tanımlanması
3. İşlevsel arızaların belirlenmesi
4. Arıza modlarının belirlenmesi
5. Arıza etkilerinin belirlenmesi
6. Arıza sonuçlarının belirlenmesi
7. Bakım taktiklerinin belirlenmesi
8. Bakım aralıklarının belirlenmesi
9. Bakım programının uygulamaya geçirilmesi ve optimizasyonu

5.6.1 Sistemlerin seçilmesi ve tanımlanması

RCM analizinin uygulanacağı birim seçimi yapılırken iki soru dikkate alınmalıdır:

1. Hangi sistemler için RCM analizi kullanmak, geleneksel bakım yöntemlerine göre daha avantajlıdır ?
2. Hangi düzeyde (fabrika, sistem, alt sistem vb.) analiz gerçekleştirilmelidir ?

İlke olarak tüm sistemler RCM analizinden yararlanırlar, ancak eldeki olanakların kısıtlı olduğu durumlarda sistemler arasında önceliklendirme yapılması gerekir. Analizden en çok yarar görecek sistemler ile analize başlanmalıdır [30].

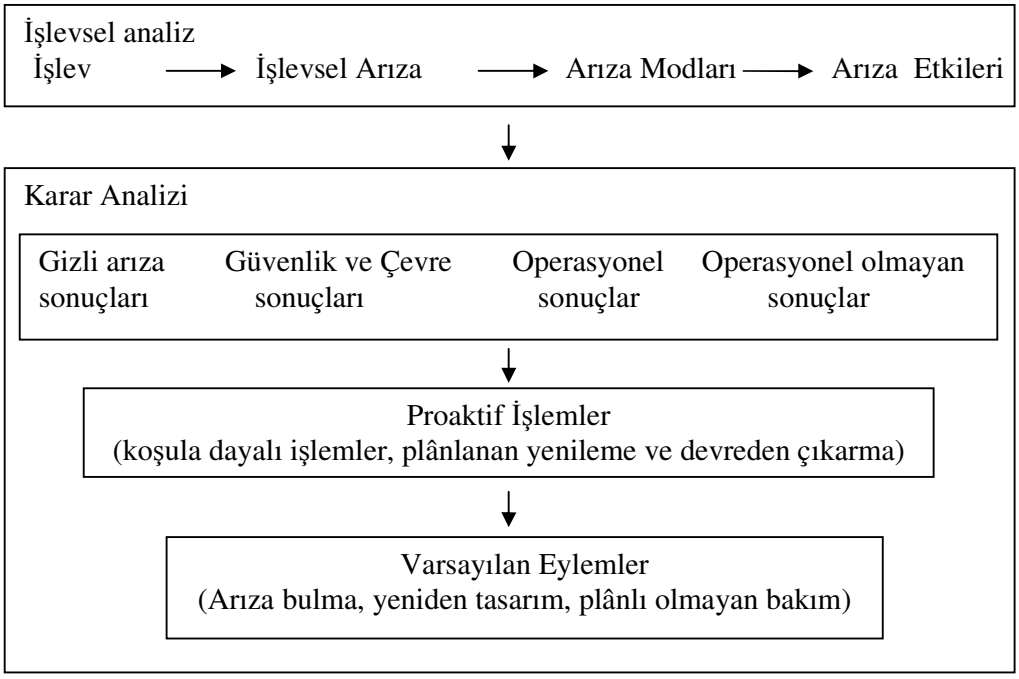
5.6.2 İşlevler ve performans standartları

Her sistemin birçok sayıda işlevi olabilir. RCM analizinin gerçekleştirilebilmesi için bu işlevlerin önemli olanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu adımda analizi yapacak kişinin kontrol veya sınıflandırma listeleri kullanmasında yarar vardır [30].

Bir fiziksel varlığın istenen işlevlerini sürdürebilmesi için aşağıdaki iki koşulun sağlanması gerekmektedir [10, 11]:

1. Kullanıcıların demirbaşın işlevlerini belirlemesi,
2. Kullanıcıların, demirbaştan beklentilerinin olanaklı olmasının sağlanması .

Güvenilirlik merkezli bakım sürecinin bu adımı, kullanılan her demirbaşın işlevlerinin, istenen performans değerleriyle birlikte tanımlanmasıdır. Bu işlevler, iki alt sınıfta incelenebilir:



Şekil 5.2 : RCM süreci [26]

Birincil İşlevler:

Varlıkların neden o işletmede bulunduğunun özetlenmesidir. Bu işlev sınıfı; hız, çıktı, taşıma veya depolama kapasitesi, ürün kalitesi ve müşteri hizmetleri gibi konuları içerir [10, 30].

İkincil İşlevler:

Her varlığın birincil işlevlerinin dışında neler yapmasının beklendiği tanımlanır. Kullanıcıların güvenliği, kontrol, kapsam, rahatlık, yapısal bütünlük, ekonomiklik, koruma ve işletme etkinliği, çevresel düzenlemelere uyum, hattâ varlığın fiziksel görünümü ile ilgili beklentiler de ikincil işlevlerin içeriğine girer [10, 30].

Bu ilk adım, güvenilirlik merkezli bakım sürecinde çok önemli bir yere sahip olup. Ekipmanın gerçekte nasıl çalıştığı konusunda kayda değer bilgiler edinilmesini sağlamaktadır.

Varlıkların kullanıcıları, bütünsel anlamda varlığın organizasyona fiziksel ve finansal olarak iyi anlamda ne kattığını bilme konusunda en iyi konumdaki kişilerdir. Bu yüzden RCM sürecine başlangıçtan itibaren katılmaları kesinlikle çok önemlidir.

Eğer bu adım doğru yapılırsa, tüm RCM analizi içerisindeki zamanın yaklaşık üçte birini içerir. Bu adım, çoğu zaman RCM ekibindekilerin "dikkate alınacak hatta korkulacak kadar" ekipmanın gerçekten ne yaptığını anlamalarına yarar [2].

5.6.3 İşlevsel arızalar

Bakımın hedefleri, işlevler ve performans beklentileri gözönünde bulundurularak tanımlanabilir. Ancak bakım bu hedeflere nasıl ulaşacaktır ?

Bakım hedeflerine, uygun bir arıza yönetimi yaklaşımı uygulanarak ulaşılabilir. Ancak, uygun bir arıza yönetimi karışımını uygulamadan önce, ortaya çıkabilecek arızaların belirlenmesi gerekmektedir. RCM süreci bunu iki aşamada yapar [7, 10, 11]:

1. Arızaya neden olan genel durumların belirlenmesi.
2. Bu genel durumlara yol açan olayların sorgulanması.

Güvenilirlik merkezli bakım dünyasında, arıza durumları işlevsel arızalar olarak bilinir. Çünkü ekipmanda oluşan arızalar, ekipmanın işlevsel olarak standardını sağlayamadığı durumlarda ortaya çıkarlar. Toplam işlevsel yetersizliğe ek olarak, bu tanım, varlığın işlevlerini sürdürebildiği ancak düşük performansla çalıştığı bölgesel arızaları da içerir [26].

Bu çalışmada arızalar aşağıdaki gibi sınıflandırılacaktır [30]:

1. Ani arızalar, testler ve incelemeler yapılsa bile önceden tahmin edilemeyen hatalardır.
2. Kademeli arızalar, testler ve incelemeler yapılarak önceden tahmin edilebilen hatalardır. Bu tip hatalar, ekipmanın kendisi için belirlenmiş olan performans değeri aralığından gittikçe uzaklaşmasını sağlar. Bu hataların belirlenmesi için

performans spesifikasyonları ile gerçekleşen ekipman performansı karşılaştırılmalıdır.

3. Yaşlanma arızaları, ekipmanın ömrü ilerledikçe ortaya çıkma olasılıkları artan arızalardır. Bu tip arızalara yıpranma arızaları da denilmektedir. Yaşlanma arızaları, bazı zamanlarda kademeli, bazı zamanlarda ani arızalar olarak görülebilir.

5.6.4 Arızaların modları

İşlevsel arızaların belirlenmesinden sonraki adım, arıza durumuna neden olabilecek orta derecede olası tüm olayların tanımlanmasıdır. Bu olaylar, arıza modları olarak bilinir [10].

Orta derecede olası arıza modları, aynı ya da benzer işleri yapan ekipmanlarda ortaya çıkan, var olan bakım sistemleri tarafından önlenebilen ve henüz gerçekleşmemiş ancak gerçekleşmesi olası arızaları içerir. Çoğu geleneksel arıza modları, bozulma, aşınma, yıpranma, kopma ve normal halde aşınıp eskimelerin yol açtığı arızaları içermektedir. Ancak bu arıza modlarının listesi, insanın (operatörler ve bakımcılar) yol açtığı arızaları da içermeli ve orta derecede olası arızalanmalara yol açabilecek tasarım kusurlarıyla da ilgilenmelidir [10, 26].

Ayrıca arızalara yol açan nedenlerle uğraşmak yerine belirtileri ortadan kaldırmak için boşuna harcanan zaman ve çaba kayıplarını önleyebilmek için, her arızanın nedenlerinin ayrıntılı olarak tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Diğer yandan çok ayrıntılı analiz yapmak için harcanan zaman düşünülerek, analizlerde bir denge noktası bulunmalıdır [30, 32].

5.6.5 Arıza etkileri

Güvenilirlik merkezli bakım sürecinde beşinci adım, her arıza modu ortaya çıktığında nelerin oluştuğunu tanımlayan arıza etkilerinin listelenmesidir. Bu tanımlamalar, arıza sonuçlarının değerlendirilmesini desteklemek için gerekli tüm bilgileri içermelidir. Bu bilgilerden bazıları, aşağıdaki şekilde sıralanabilir [10, 30]:

- Arızanın (varsa) oluştuğunu hangi deliller göstermektedir ?
- Arıza (varsa) hangi yolla çevre ve güvenlik konusunda tehdit oluşturuyor ?
- Arıza (varsa), hangi yolla üretimi ve operasyonu etkiliyor ?

- Arıza (varsa) neden olduğu fiziksel zararlar nelerdir ?
- Arızanın onarılabilmesi için neler yapılmalıdır ?

İşlevlerin, işlevsel arızaların, arıza modlarının ve arıza etkilerinin tanımlanması işlemi, performansı ve güvenliği geliştirmek için fırsatlar sunarken, kayıpların azaltılmasını da sağlamaktadır [10, 30].

5.6.6 Arıza sonuçları

Orta büyüklükteki bir endüstriyel kurumda ayrıntılı bir analiz sonucunda 3.000-10.000 arası arıza modu çıkmaktadır. Bu arızaların her biri, organizasyonu bazı yollardan etkiler, ancak her durumun etkisi farklı olabilir. Arızalar; operasyonları, ürün kalitesini, müşterilere sunulan hizmeti, güvenliği ve/veya çevreyi etkileyebilirler ve tümünün telâfisi, belli bir zaman harcanması ve maliyete neden olacaktır [10].

Önlenmeye çalışılan daha güçlü etkilere sahip olan sonuçlardır. Diğer bir ifadeyle, bir arızanın ciddi sonuçları varsa, onu önlemek için daha fazla güç kullanımı gerekir. Ancak hiç etkisi olmayan veya çok küçük etkileri olan bir arıza oluştuğunda basit temizlik ve yağlamaların dışında bir bakım gerçekleştirmeme kararı verilebilir [7, 10, 30].

RCM'nin güçlü yanlarından biri, teknik özelliklerinden çok daha önemli olan arıza sonuçlarının tanınmasını sağlamasıdır. Aslında, her türlü proaktif bakım faaliyetlerinin tek nedeni, arızaları önlemek değil, arızaların doğurduğu sonuçları ortadan kaldırmak veya azaltmaktır [32]. RCM süreci, arızaların doğurduğu sonuçları dört gruba ayırır [10, 30]:

1. Gizli Arızaların Doğurduğu Sonuçlar: Gizli arızalar doğrudan etkisi olmayan ancak organizasyonu ciddi ve yıkıma yol açan sonuçlara karşı korumasız bırakan arızalardır. Bu arızalar, ortaya çıkmalarına rağmen fark edilemeyen arızaları oluşturmaktadır. Bu arızaların çoğu, güvenli olmayan koruyucu aygıtlarla ilişkilidir.
2. Güvenlik ve Çevresel Sonuçlar: Bir arıza eğer birisini yaralar, zehirler veya öldürür ise güvenlikle ilgili sonuçlar doğurur. Bir arıza eğer kurumsal, bölgesel, ulusal veya uluslararası çevre standartlarını ihlâl ediyorsa çevresel sonuçlar doğurur.

3. Operasyonel Sonuçlar: Eğer bir arıza üretimi (çıktı, ürün kalitesi, müşteri hizmeti, onarım maliyetine ek olarak operasyon maliyeti) etkiliyorsa operasyonel sonuçlar doğurur.
4. Operasyonel Olmayan Sonuçlar: Bu gruba giren arızalar, onarım maliyetine neden olan, üretimi, çevreyi veya güvenliği etkilemeyen arızalardır.

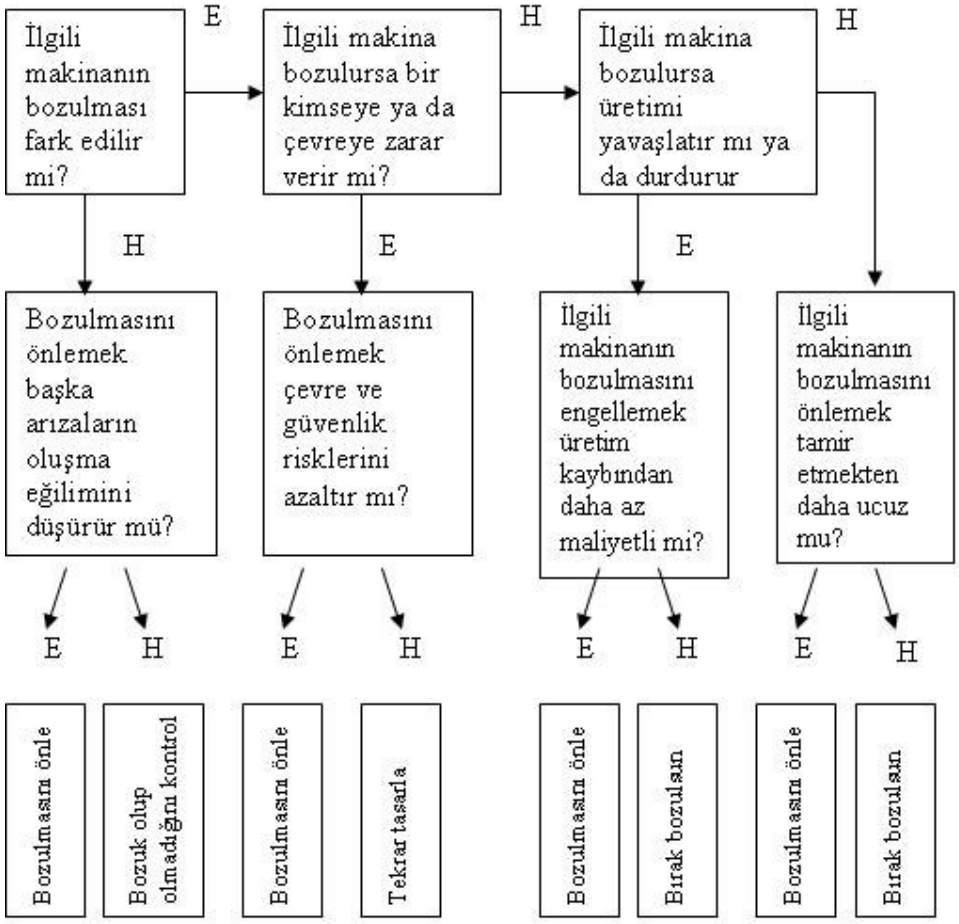
Her arıza modunun doğurduğu sonuçların yukarıdaki sınıflandırma ile değerlendirilmesi, bakım işlevinin operasyonel, güvenlikle ilgili veya çevresel amaçlarını birleştirerek, bakım kararlarının verilmesinde stratejik bir çerçeve olarak kullanılırlar [10].

Sonuç değerlendirme süreci, tüm arızaların kötü ve mutlaka önlenmesi gerektiği düşüncesinden uzaklaşılmasını sağlamaktadır. Böylece, organizasyonun performansı üzerinde en çok etkiye sahip olan bakım etkinliklerine odaklanılarak gereğinden fazla enerji harcanması önlenir. Ayrıca arıza önlemeye yoğunlaşılmasından çok, arıza yönetimi konusunda daha geniş düşünebilmeye teşvik etmektedir. Arıza yönetimi teknikleri iki grupta incelenebilir:

1. Proaktif işlemler
2. Varsayılan eylemler

5.6.7 Bakım işlemlerinin belirlenmesi

Bu adımda analizi yapan kişiye karar diyagramları yardımcı olur (Şekil 5.3). Bu diyagramların girdisini, arıza modları ve etkileri analizinde ortaya çıkan baskın arıza modları oluşturur. Buradaki temel amaç, baskın arıza modlarının incelenerek önleyici bir bakım programının oluşturulmasının etkin olup olmayacağına karar verilmesidir.

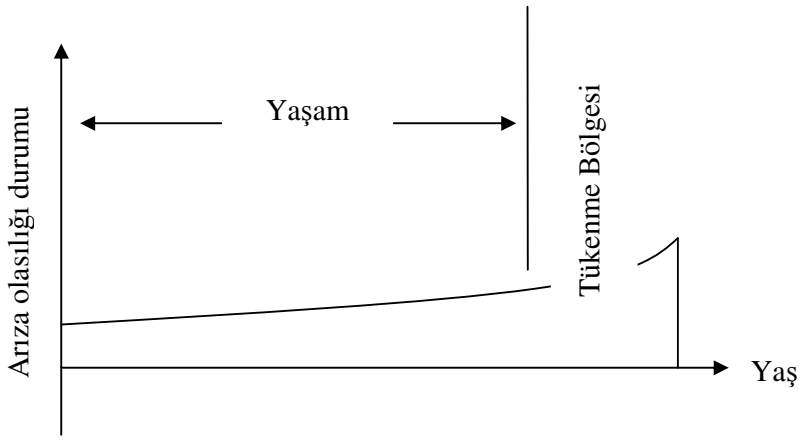


Şekil 5.3 : RCM karar diyagramı örneği

5.6.7.1 Proaktif işlemler

Proaktif işlemler, ekipmanın arıza durumuna girmesini engellemek amacıyla arıza ortaya çıkmadan önceki işlemlerdir. Klasik olarak kabul edilen koruyucu ve kestirimci bakımı içerir, ancak RCM bunun için; planlanan yenileme (scheduled restoration), planlanan devreden çıkarma (scheduled discard) ve koşula dayalı bakım (on-condition maintenance) terimlerini kullanır [26].

Birçok insan, tesis uygunluğunu eniyilemenin en iyi yolunun bir şekilde proaktif bakım yapmak olduğuna inanmaktadır. İkinci kuşak bakım anlayışı sabit zaman aralıklarıyla bileşenlerin değişiminin ve onarımının yapılması gerektiğini savunmaktaydı (Şekil 5.3).

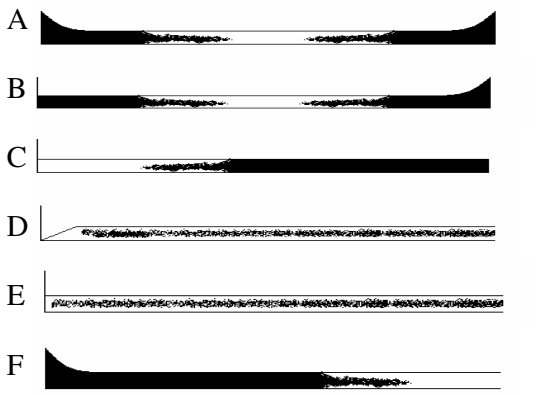


Şekil 5.4 : Geleneksel arıza görüşü

Şekil 5.4, çoğu makinanın belirli bir süre güvenilir çalışabileceği ve daha sonra da tükeneceği kabulüne dayanmaktadır. Arıza hakkında geniş kayıtlar sunan klasik düşünce, makinanın yaşam döngüsünü belirleyebilmeyi ve buna göre gelecekte karşılaşılabilecek arızalardan önce önleyici faaliyetlerin planlanmasını sağlamaktadır.

Bu model belli tipteki basit ekipmanlar veya karmaşık ekipmanlardaki baskın arızalar için geçerlidir. Çoğu zaman, yıpranma karakteristikleri, ekipman ürün ile doğrudan temasta olduğu durumlarda geçerlidir. Yaş ile ilgili arızalar genellikle yorulma, korozyon, paslanma, aşınma ve buharlaşma ile ilgilidir [30].

Ancak genel olarak günümüzde ekipmanlar yirmi yıl önce olduğundan çok daha karmaşık yapıdadırlar. Bu, Şekil 5.5'te görüldüğü gibi arızaların şablonunda değişmeye neden olmuştur. Bu şekil, birçok farklı elektrik ve mekanik parçalarda yaşa ilişkin durumsal arızalanma olasılığını gösterir.



Şekil 5.5 : Arıza olasılığının altı farklı şekli [11]

A şablonu çok iyi bilinen bir küvet eğrisidir. Arızalanma olasılığı yüksek olarak başlar, daha sonra sabit ve az artan bir şekilde sürerek ekipman yıpranma dönemine geldiğinde hızlı artış gösterir [10, 11].

B şablonunda arızalanma olasılığı sabit veya az artan bir şekilde sürerek yıpranma dönemiyle sonlanır [10, 11].

C şablonunda arızalanma olasılığı çok az bir şekilde artmaktadır ancak ekipman yıpranma döneminde bulunmamaktadır [10, 11].

D şablonunda parça yeni iken çok düşük bir arızalanma olasılığı ile başlar sonra hızlı bir şekilde sabit oranla ilerler [10, 11].

E şablonunda her yaşta ekipmanın arızalanma olasılığı aynıdır (rassal olarak ortaya çıkan arıza) [10, 11].

F şablonunda ise arızalanma olasılığı yüksek başlar, sonuçta hafif bir şekilde artan düzeye kadar düşer [10, 11].

Sivil havacılık sektöründeki çalışmalar, parçaların %4'ünün A, %2'sinin B, %5'inin C, %14'ünün E ve %68'den az olmayan bir kısmının da F şablonuna uyduğunu gösterir [10, 11].

Uçak arızalarının bu endüstrideki değerlere uyacağı söylenemez ancak ekipman karmaşıklaştıkça E ve F şablonunun daha çok gözlemlendiği rahatlıkla söylenebilir.

Bu bulgular güvenilirlik ve operasyon yaşı arasında bir ilişki olduğu tezi ile çelişmektedir. Bu tez, "parça ne kadar sık elden geçirilirse arızalanma olasılığı o kadar düşer" düşüncesini doğurmaktadır. Bu düşünce, günümüzde çok nâdiren doğrudur. Ancak baskın ve yaş ile ilgili arıza modu olmadığı sürece yaş sınırları karmaşık parçaların güvenilirliğini arttırmada çok az etkilidir ya da hiç etkili değildir. Tersine, planlanmış elden geçirmelerin, yeni doğan çocuk ölüm oranı etmeni yüzünden, gerçekte arızalanma olasılığını arttırdığı ortaya çıkmıştır [7].

Bu durum bizi proaktif işlemler konusuna yönlendirir. RCM, daha önce de sözedildiği gibi proaktif işlemleri üçe ayırır:

1. Planlanan yenileme
2. Planlanan devreden çıkarma
3. Koşula dayalı işlemler

Planlanan Yenileme ve Planlanan Devreden Çıkarma İşlemleri:

Planlı yenileme, o anki durumuna bakılmaksızın bir bileşenin belli bir yaş sınırında veya ondan önce yeniden üretilmesini veya montajın elden geçirilmesini gerektirir. Benzer olarak planlı devreden çıkarma (ıskartaya çıkarma), o anki durumuna bakılmaksızın bir parçanın belli bir yaş sınırında veya ondan önce ıskartaya çıkarılmasıdır [10, 30].

Şu anda bu iki tip işlem, genel olarak koruyucu bakım yaklaşımı olarak bilinir. Proaktif bakımın en geniş şekilde uygulanmış olanıdır ancak yukarıda tartışılan nedenlerden dolayı 20 yıl önceki bir yaklaşım olduğundan çok daha az olarak kullanılmaktadır [26].

Koşula Dayalı İşlemler:

Belli tipteki arızaların önlenmesi gereksinimi ve klasik tekniklerin bunu yapmadaki eksikliği, yeni tiplerdeki arıza yönetim anlayışlarını doğurmuştur. Bu tekniklerin büyük bir kısmı, birçok arızanın ortaya çıkmadan önce uyarı vermesine dayanır. Bu uyarılar, potansiyel arıza olarak kabul edilir ve işlevsel arızanın ortaya çıkmak üzere olduğu veya çıkma sürecinde olduğunu gösterir [10].

Ekipmanın işlevsel arıza yapma durumunda ortaya çıkacak sonuçları ortadan kaldırmak için harekete geçilmesi amacıyla potansiyel arızaları belirlemekte yeni teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler, parçalar istenen performans standartlarını sürdürürken uygulandığı için "durum üzeri" olarak adlandırılmaktadır [30].

Koşula dayalı bakım, bu çalışmada daha önceki bölümlerde de değinilen Kestirimci Bakım, Durum İzleme Esaslı Bakım ve Durum İzleme kavramlarını içermektedir. Doğru kullanıldığında koşula dayalı işlemler, arıza yönetiminde çok iyi bir yöntemdir ancak bunun yanısıra pahalı bir zaman tüketicisi de olabilir [7, 10, 30].

5.6.7.2 Varsayılan eylemler (Default actions)

Varsayılan eylemler, arıza hali ile uğraşırlar ve etkin bir proaktif faaliyetin tanımlanamayacağı durumlarda seçilirler. RCM varsayılan hareketleri üç temel grupta inceler:

1. Arıza bulma (Failure finding): Arıza bulma faaliyetleri, gizli işlevlerin periyodik olarak arıza yapıp yapmadığını kontrol etme işlemleridir. Durum esaslı görevler, arıza yapma sürecinde mi olduğunu kontrol ederken kullanılır [32].

2. Yeniden tasarım (Redesign): Sistemin var olan yeteneklerinde bir değişiklik yapılmasını gerektirir. Donanımdaki değişiklikler, bu yordamlardaki bir kerelik değişiklikleri içerir [30].

3. Planlı olmayan bakım (No scheduled maintenance-run to failure): Adından da anlaşılacağı gibi arıza modlarını önlemek için hiç bir çaba harcanmadan ve oluşmasına izin verilen arızaların onarılması için gerçekleştirilen faaliyetlerdir [10].

5.6.8 RCM Görev Seçim Süreci

RCM'nin en güçlü olduğu yanı, hangi proaktif görevlerin her çalışma tarzına teknik olarak uygun olup olmadığı, uygunsa ne sıklıkta ve kimler tarafından yapılacağı kararına ilişkin basit, kesin ve kolay anlaşılır ölçüt sağlamasıdır [10].

Teknik olarak proaktif görevin uygun olup olmadığı görevin ve önlemeye çalıştığı arızanın teknik karakteristiklerine bakılarak anlaşılır. Arızanın, yarattığı sonuçları ortadan kaldırabilmesi ölçütü, bu görevin katkı sağlar olup olmadığını anlamamıza yarar. Teknik olarak uygun olmayan ve katkı sağlar olmayan proaktif görev bulunamazsa, uygun varsayılan hareket seçilmelidir. Görev seçim sürecinin özü aşağıdadır:

- Gizli arızalar için, eğer uygulandığı işlev ile ilgili oluşabilecek çoklu arıza riskini, kabul edilebilir düşük bir düzeye çekiyorsa, proaktif görev "katkı sağlar" olarak değerlendirilir. Eğer bu ölçüte uygun bir görev bulunamazsa, planlı arıza bulma görevi uygulanmalıdır. Eğer uygun arıza bulma görevi bulunamazsa, ikinci karar ölçütü, parçanın yeniden tasarlanması gerekliliğidir [32].

- Güvenlik ve çevre ile ilgili sonuçlar doğuran arızalar için, eğer arıza ile ilgili riski tümüyle ortadan kaldırmasa bile alt düzeye çekiyorsa, proaktif görev katkı sağlayacaktır. Eğer bu şekilde bir görev bulunamazsa parça yeniden tasarlanmalı veya süreç değiştirilmelidir [10, 32].

- Operasyonel sonuçlar doğuran arızalar için, belli sürede görevi icra etmenin toplam maliyeti, yine aynı süre içinde arızanın doğuracağı operasyonel maliyetler ile onarım maliyetlerinin toplamından küçükse proaktif görev "katkı sağlar" olarak düşünülür. Eğer görev bu şekilde sağlam bir ekonomik temel üzerine oturmazsa, ilk yapılacak iş planlı olmayan bakım uygulanmasıdır. Eğer

operasyonel sonuçlar halen kabul edilebilir düzeyde değilse, ikinci karar kriteri, yeniden tasarım olmalıdır [26, 32].

- Operasyonel sonuçlar doğurmayan arızalar için, belli bir süre görevi icrâ etmenin maliyeti, yine aynı süre içinde onarım maliyeti toplamından küçükse proaktif işlemler katkı sağlayacaktır [10].

Arıza modlarının, etkilerinin ve sonuçlarının analizi, bu arıza modlarını engellemeyi ve yönetmeyi sağlamak amacıyla gerekli işlemlerin seçilebilmesi süreci için veri toplamak amacıyla, ekipman tarihçeleri analizi yapmak ve takım çalışmasını gerçekleştirmek şarttır [11].

Güvenilirlik temel ilkedir ve tüm yöntemlerin başarıya ulaşmasındaki temel ölçüttür. RCM ve TPM yaklaşımları, bu güvenilirliği sağlamak için iki mükemmel araçtır.

5.6.9 Bakım aralıklarının belirlenmesi

Bakım programı belirlendikten sonra bakım aralıklarına karar verilmelidir. Bakım programının düzenli aralıklarla yapılması gerekmektedir. Optimum aralığı belirlemek için olası arıza sıklığı, arıza sonuçları ve arıza maliyetleri dikkate alınmalıdır [30].

Literatürde birçok bakım optimizasyonu modeli bulunmaktadır. Bu modellerde genellikle her bir birim ayrı ayrı değerlendirilmektedir ve her bir arızanın maliyetinin hesaplanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca modellerin büyük bölümünde girdi verileri gerektiği miktarda bulunmamadığından bunu uygulamaya alabilmek olanaklı olmamaktadır. Uygulamada, çeşitli bakım işlemleri birleştirilerek bakım paketleri oluşturulmakta ve belirli bir sıralama ile gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden bakım aralıklarının, her bir birim için optimize edilmesi çok zordur. Bakım paketine bir bütün olarak yaklaşılıp, bakım aralıklarının bu bütüne göre belirlenmesinde yarar vardır [10].

5.6.10 Bakım programının uygulamaya geçirilmesi ve optimizasyonu

Güvenilirlik Merkezli Bakım analizi sonucunun uygulanmasında, organizasyonel ve teknik bakım destek fonksiyonlarının varlığı çok önemlidir. Bakım sırasında veya yetersiz bakım yapılmasından dolayı birçok kaza gerçekleşebilir. Dolayısıyla bakım programını işleme alırken çeşitli bakım görevlerinin risklerinin de dikkate alınması gerekir [30].

RCM'nin en önemli üstünlüğü, operasyon ve bakım deneyiminin başlangıç analiz sürecine beslenmesidir. Bu şekilde RCM girdileri sürekli yenilenerek, operasyon verileri gün geçtikçe iyileşir. Yenileme sürecinde üç temel vardır:

1. Kısa dönemli aralık düzeltmeleri

2. Orta dönemli görev değerlendirmesi

3. Başlangıç stratejisinin uzun dönemli revizyonu

Sistem içinde oluşan her bir arıza için arıza karakteristikleri, etki ve karar analizi ile karşılaştırılmalıdır. Eğer arıza, etki ve karar analizinde yeterince ayrıntılandırılmamış ise RCM'nin bu bölümü baştan yapılmalıdır.

Kısa dönemli güncellemeler, geçmiş analiz sonuçlarının revizyonu olarak düşünülebilir. Böyle bir analiz için sunulacak girdiler, güncellenmiş arıza bilgileri ve güvenilirlik tahminleridir. Orta dönemli güncellemelerde bakım taktiklerinin belirlenmesi süreci gözden geçirilir. Deneyimlenen bakımdan elde edilen bilgiler, ilk analizde gözardı edilmiş olan önemli arızaların dikkate alınmasını sağlayabilir. Uzun dönemli revizyon, RCM analizindeki bütün adımları baştan sona inceler. Analiz edilen sistemden başka, sistemin içinde bulunduğu çevreyi de irdelemekte yarar vardır.

6. UYGULAMA

6.1 Genel Bilgi

Temelleri 1967 yılında Akçimento ile atılan ve 1996 yılında Çanakkale Çimento ile birleşmesi sonucunda Türkiye'nin en büyük çimento şirketi konumuna gelen Akçansa, bir Sabancı Holding ve HeidelbergCement ortak kuruluşudur. Çimento ve hazır beton üretiminde Marmara, Ege ve Karadeniz bölgelerinde faaliyet gösteren Akçansa'nın, İstanbul'da, Çanakkale'de ve Samsun'un Ladik ilçesinde kurulu üç çimento fabrikası ile Ambarlı, Aliağa ve Yalova'da üç çimento terminali bulunmaktadır. Akçansa'nın yıllık üretim kapasitesi 9 milyon ton çimento ve 6,5 milyon ton klinkerdir [37].

6.2 Akçansa Büyükçekmece Fabrikası

1967 yılında günlük 1.250 ton üretim kapasitesi ve 400 çalışanı ile üretime başlayan Büyükçekmece fabrikası, 1971 yılında ikinci üretim hattının devreye girmesiyle üretimini iki katına çıkarmıştır. Yapılan üçüncü üretim hattının ardından günlük klinker üretim kapasitesi 4.000 tona çıkmıştır [37].

Çimentonun üretiminde ara ürün olarak ortaya çıkan klinkerin üretim kapasitesindeki artışa paralel olarak tesiste var olan çimento değirmeni adedi 4'e çıkartılmıştır ve iki yeni paketleme ünitesi tesise eklenmiştir. Yakıt olarak fuel-oil yerine kömür kullanılmaya başlanmış ve hammadde ön homojenizasyon tesisleri kurulmuştur [37].

1992 yılında ikinci üretim hattında yapılan prekalsinasyon sistemi ve proses optimizasyonları ile günlük üretim kapasitesi 5.800 tona ulaşmıştır. 2004 yılında monte edilen on-line analizör ile 2. ve 3. fırının yenilenen alev boruları ürün kalitesinin standartlaştırılmasında önemli bir gelişme kaydedilmiştir [37].

Büyükçekmece Fabrikası'na ait 1. üretim hattında 90 ton/saat, ikinci üretim hattında 140 ton/saat, üçüncü üretim hattında ise 115 ton/saat kapasiteli değirmenlerde hammadde "farin" haline getirilir. Sırasıyla 1.250 ton/gün, 2.700 ton/gün ve 1.500 ton/gün klinker üretim kapasitesine sahip ön ısıtıcılı prekalsinatörlü kuru sistem

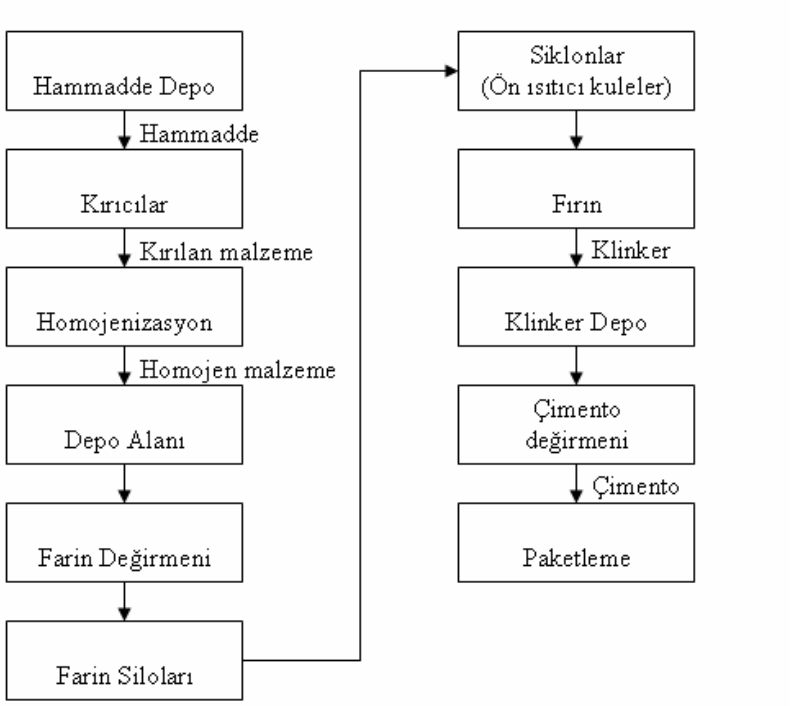
döner fırınlardan çıkan ürünler çimento değirmenlerine gönderilir. Üretim hatlarının yıllık toplam klinker üretim kapasitesi 1.850.000 tondur. Fabrikada toplam dört adet çimento değirmeni bulunmaktadır. Bu değirmenlerden ikisi 90 ton/saat, biri 60 ton saat, biri de 135 ton/saat olmak üzere toplam 375 ton/saat çimento öğütme kapasitesi bulunmaktadır. Üretilen çimento, paketleme makinaları ile torba çimento olarak piyasaya sürülebildiği gibi dökme çimento olarak paketlenmeden de satılmaktadır [37].

Büyükçekmece Tesislerinde 1995'ten itibaren TS EN ISO 9001:2000 Kalite Yönetim Sistemi kural ve ilkeleri, şirketin her kademesinde uygulanmaktadır. Türkiye'de yabancı standart kuruluşlarından belge alan ilk çimento fabrikası olarak Şubat 2003'ten bu yana ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi gerekliliklerini uygulamaktadır. Tesislerde çevre politikası çerçevesinde öncelikli hedef, atık üretmemek, atığın hava, su ve toprak kirliliğine neden olmasını önlemek, atıkları geri kazanmak ve yasal gerekliliklere uymaktır. OHSAS 18001 Sertifikası, British Standart Institue (BSI)'dan Nisan 2004 tarihinde alınmıştır [37].

6.3 Akçansa Çimento Üretim Süreci

Çimento her biri yüksek derecede uzmanlık, bilgi ve dikkat gerektiren birçok aşamanın gerçekleştirilmesi ile üretilir. Şekil 6.1'de görülebileceği gibi çimento üretiminin ilk aşaması hammadde olarak kullanılan kalker, şist, kum ve demir cevherinin maden ocaklarından üretim tesisine getirilmesidir. Ocaklardan getirilen hammadelerin daha sonraki işlemler için kırılmaları gerekir. Ufaltma işi kırıcı ve değirmenlerde yapılır. Kırıcılardan geçerek küçültülen hammaddeler homojenizasyon tesislerinde belirli oranlarda harmanlandıktan sonra farin değirmenlerinde öğütülür. Öğütülen hammadde karışımı, farin silolarında birikir ve siklonlara transfer edilir.

Ön ısıtma işlemleri siklonlarda yapılır. 4 aşamalı siklon sisteminde fırından çıkan sıcak gazla farinin sıcaklığı kademeli olarak 800°C'ye kadar yükseltilir. Isıtılan malzemenin eğik bir döner fırına girip 1450°C sıcaklığa kadar pişirilerek "klinker" haline gelmesi sağlanır. Döner fırının sahip olduğu düşük eğimden dolayı, malzeme yavaş yavaş aşağı uca doğru ilerler. Soğuması için bekletilen klinker daha sonra az miktarda alçı taşı ve gerekli katkı maddeleri ile birlikte öğütülerek çimento halini alır. Üretilen çimento, torbalı veya dökme çimento olarak piyasaya sürülebilir.



Şekil 6.1 : Çimento üretim şeması

6.4 Akçansa'da Bakım Faaliyetleri

Akçansa'da bakım faaliyetleri, düzeltici bakım işlemleri ile başlamıştır. Arızalar gerçekleştikten sonra yapılan bakım-onarım faaliyetlerinin zamanla çok yüksek maliyetlere yol açtığı gözlemlenmiştir. Değişen bakım anlayışı ile birlikte 1980'li yıllarda tesis genelinde planlı bakım uygulaması için temel atılmıştır. Tesiste öncelikle koruyucu bakım uygulamasına başlanmıştır. Tesis içindeki ekipmanlar ve bunların değişik parçaları için ayrı ayrı bakım aralıkları belirlenmiştir. Bu bakım aralıklarında önceden karar verilmiş yenileme, parça değiştirme ve onarım işlemleri yapılmıştır.

1990'lı yıllarda tesiste kestirimci bakım uygulamalarına başlanmıştır. Böylece aşınmayan ve hasar görmeyen ekipmana müdahele edilmeyerek, bakım maliyetlerinin en uygun düzeyde tutulması hedeflenmiştir.

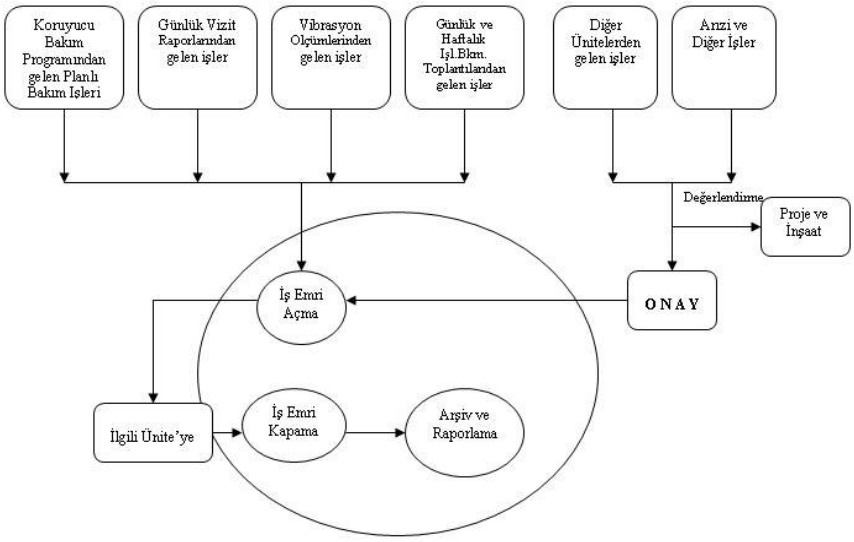
Günümüzde Büyükçekmece Fabrikası'nda hem koruyucu hem kestirimci bakım uygulanmaktadır. Ayrıca yılda bir kez, 15-20 gün süren revizyon yapılmaktadır. Bu revizyonda diğer zamanlarda durması ciddi üretim kayıplarına ve maliyetlerine yol açan fırının bakım işlemleri gerçekleştirilmektedir. Fırın ile birlikte çimento

değirmenleri ve kömür değirmenleri başta olmak üzere tüm tesisin bakımı da yapılmaktadır.

Akçansa Büyükçekmece Fabrikası Bakım Müdürlüğü altında 5 farklı ekip bulunmaktadır. Bunlar mekanik bakım, ekipman bakım ve bakım planlama, elektrik bakım, enstrüman bakım ve yardımcı işler bölümleridir. Tüm bu bölümler; ekipmanların, bunların alt parçalarının ve elektrik aksamının arızasız çalışması ve plansız duruşların gerçekleşmemesi için destek verirler.

6.5 Bakım İşleri Akım Şeması

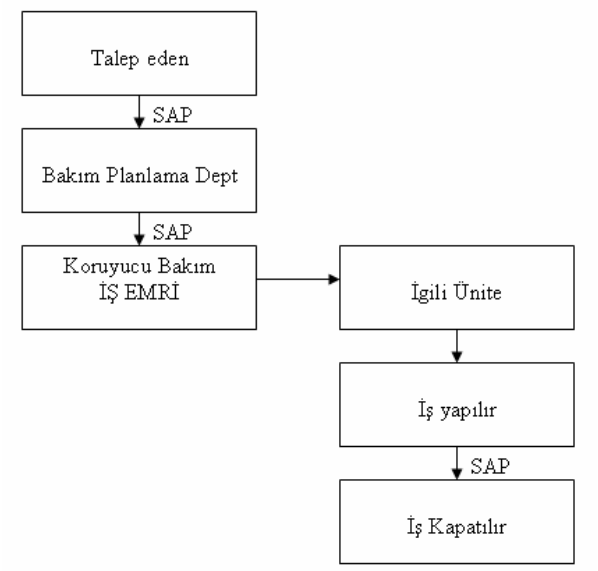
Akçansa'da bakım işleri için talepler farklı kollardan gelebilir (Şekil 6.2). Koruyucu bakım programından gelen planlı bakım işleri, günlük vizit raporlarından gelen işler, vibrasyon ölçümlerinden gelen işler ve işletme bakım toplantılarından gelen işler; doğrudan bakım planlama bölümüne iletilir ve iş emirleri açılır. Diğer birimlerden gelen işler ve arızi işler ise onay mekanizmasından geçtikten sonra bakım planlama bölümüne iletilir. İş emri ilgili birime yollanır, iş kapandıktan sonra arşiv ve raporlaması yapılır.



Şekil 6.2 : Bakım işleri akım şeması

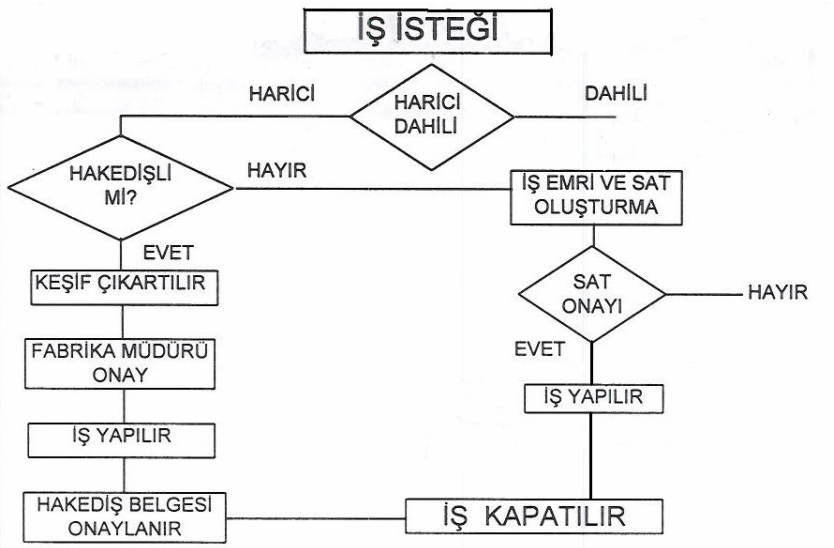
Akçansa'da iş emirleri dahili ve harici olmak üzere ikiye ayrılır. Dahili iş emri oluşturma sürecinde; iş emri bakım planlama bölümü tarafından SAP sistemi

aracılığıyla açılır ve ilgili bölüme iletir. İş yapıldıktan sonra SAP sistemine kullanılan malzeme ve iş gücü bilgileri girilerek iş emri kapatılır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 : Dahili iş emri oluşturma

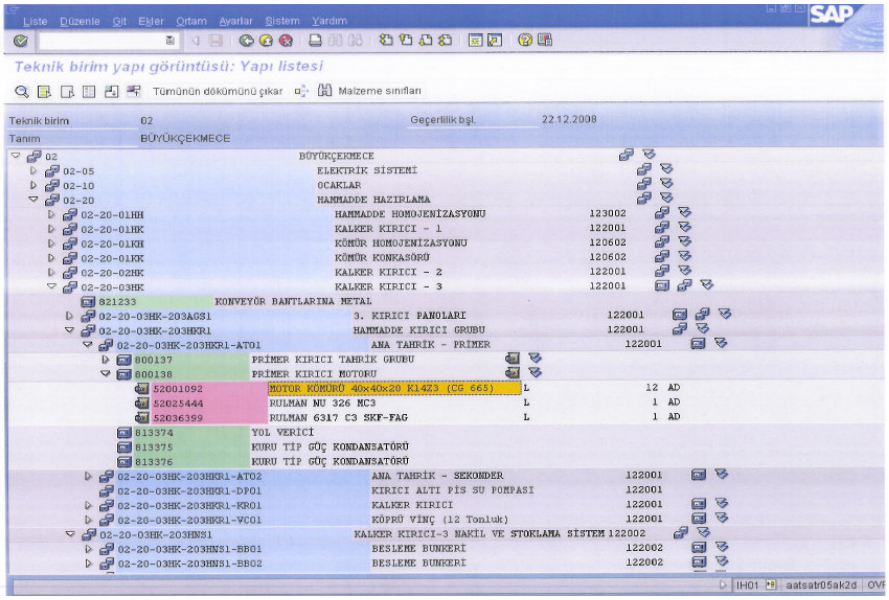
Harici iş emirleri talep edildikten sonra hakedişli olup olmadığına bakılır. Hakedişli olma durumunda öncelikli olarak keşif çıkartılır. Fabrika Müdürü'nün onayı üzerine iş yapılır, hakediş belgesi onaylanır ve iş kapatılır. Harici iş emrinin hakedişli olmadığı durumda taleple birlikte iş emri ve satınalma oluşturulur. Satınalma onayı geldikten sonra iş yapılır ve kapatılır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 : Harici iş emri oluşturma

Akçansa'da tüm bakım işlerinin atanması ve izlenmesi SAP sistemi üzerinden yapılır. Şekil 6.5'te görülebileceği gibi SAP sisteminde tesis içindeki tüm bölümler, bölümlerin içindeki ekipmanlar ve ekipmanların tüm alt parçalarına ilişkin bilgiler ayrıntılı olarak bulunmaktadır.

Bakım bölümü, SAP sisteminin başlıca bakım modülünü (PM modülü), ambar modülünü (MM modülü) ve muhasebe modülünü (AA modülü) kullanır. İş emri SAP üzerinden açıldıktan sonra, ilgili yedek parçalar ambardan istenir. İş emri ilgili birime yollanır ve iş yapıldıktan sonra kullanılan parçalar ve adam*saat bilgisi girilerek iş kapatılır. Kullanılan parçaların ambardaki envanterden düşümü yapılır. Bakım işleminin toplam tutarı, iş gücü ve yedek parça maliyetlerinin SAP sisteminden alınması ile görülebilir.

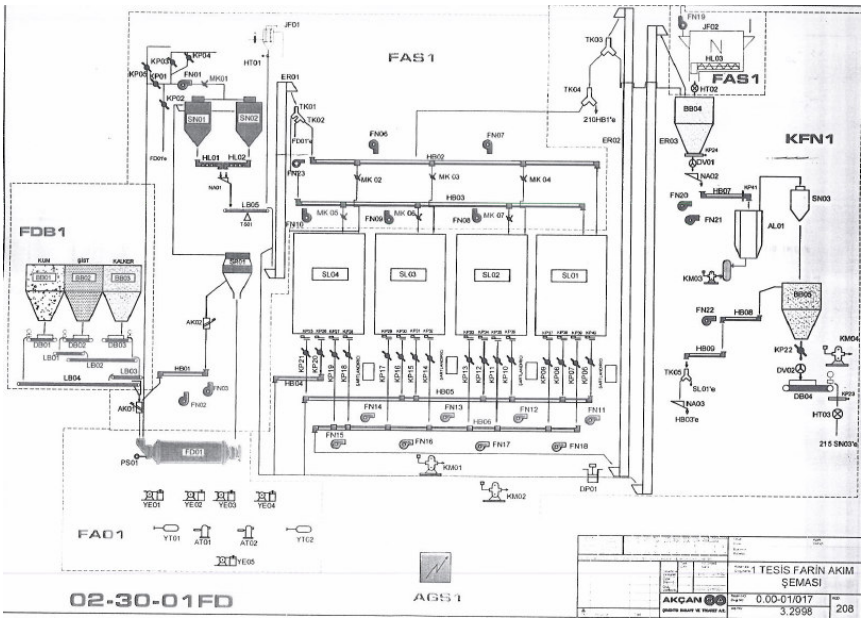


Şekil 6.5 : SAP ekran görüntüsü

6.6 Akçansa'da Koruyucu Bakım

Büyükçekmece Fabrikası 1980'li yıllarda koruyucu bakım uygulamalarına başlamıştır. Bu uygulamalar için öncelikle tesis 14 ayrı bölüme ayrılmıştır. Her bir bölüm içindeki ekipmanların ayrı ayrı akım şemaları hazırlanmıştır. Şekil 6.6'da bir akım şeması örneği gözükmektedir. Akım şemaları üzerinde her bir ekipmanın alt parçaları belirlenmiştir. Ekipmanlara ve alt-parçalara ilişkin tüm verinin SAP

girişleri yapılmıştır. Her bir bölüm için koruyucu bakım aralıkları belirlenmiş ve bu zaman aralıklarında koruyucu bakım işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.6 : Tesis akım şeması örneği

Koruyucu bakım işlemleri genelde 2 haftada bir yapılmaktadır, bazı kritik ekipmanlar için daha sık aralıklarla bakım yapılır (Şekil 6.7). Bakımın yapılacağı günden bir gün önce vizitörler alanı gezerek ekipmanı kontrol ederler. Acil yapılması gereken bakım işleri varsa, acil iş emir formu oluşturularak ilgili birime yollanır.

AKÇANSA **BÜYÜKÇEKMECE FABRİKASI PLANLI BAKIM TAKVİMİ**

	ÇİFT SAYILI HAFTA							TEK SAYILI HAFTA						
TESİS	Pt	Sl	Ça	Pe	Cu	Ct	Pz	Pt	Sl	Ça	Pe	Cu	Ct	Pz
1. ÇİMENTO DEĞİRMENİ + ALÇI LOUISE'LERİ												X		
2. ÇİMENTO DEĞİRMENİ + ÇELİK SİLO					X									
3. ÇİMENTO DEĞİRMENİ	X													
4. ÇİMENTO DEĞİRMENİ								X						
1. KIRICI BANT YOLLARI										X				
2.KIRICI VE BANT YOLLARI BAK.		X												
3. KIRICI VE BANT YOLLARI BAK.														X
4. KIRICI VE BANT YOLLARI BAK.							X							
1. KÖMÜR DEĞİRMENİ			X							X				
2. KÖMÜR DEĞİRMENİ			X							X				
3. KÖMÜR DEĞİRMENİ			X							X				
HAMMADDE HOM. VE BANT YOLLARI BAK.				X										
1.FARİN DEĞ. VE BANT YOLLARI BAKIMI						X								
2.F.DİK DEĞİRMEN VE BANT YOLLARI BAK.				X										
3.FARİN DEĞ.VE BANT YOLLARI													X	
KATKI DEĞİRMENİ VE BANT YOLLARI BAK.											X			
PİVOT BANTLARIN KONT.VE BAKIMI									X					
KÖMÜR KIRICI BANT YOLLARI									X					
KÖMÜR HOM. VE BANT YOLLARI BAK.			X											
1.2.5.PAKETLEMELER							X							
3.4. PAKETLEMELER														X
ENDÜSTRİYEL PLASTİK														X

Şekil 6.7 : Koruyucu bakım takvimi

Koruyucu bakım iş emirlerinin hepsi sistemde tanımlıdır, işin yapılacağı günden bir gün önce iş emirleri sistemden otomatik olarak çekilerek ilgili bölümlere gönderilir. İş yapılıp, tamamlandıktan sonra iş emrinin arkasına adam*saat ve kullanılan malzeme bilgileri girilir. Sonradan tüm bilgiler SAP ortamına aktarılır.

6.7 Akçansa'da Kestirimci Bakım

Akçansa Büyükçekmece Fabrikası'nda kestirimci bakım uygulamaları 1990'lı yıllarda başlamıştır. Şu anda koruyucu bakım ve kestirimce bakım uygulamaları birlikte yürümektedir.

Kestirimci bakım uygulamaları kapsamında aşağıdaki analizler yapılmaktadır:

- Vibrasyon Analizleri
- Yağ analizi
- Kalınlık ölçümleri
- Sıcaklık ölçümleri
- Aşınma ölçümleri
- Balans ölçümleri
- Relatif hareket ölçümleri
- Çatlak Testleri
- Manyetik partikül testleri
- Hava / Gaz kaçak ölçümleri

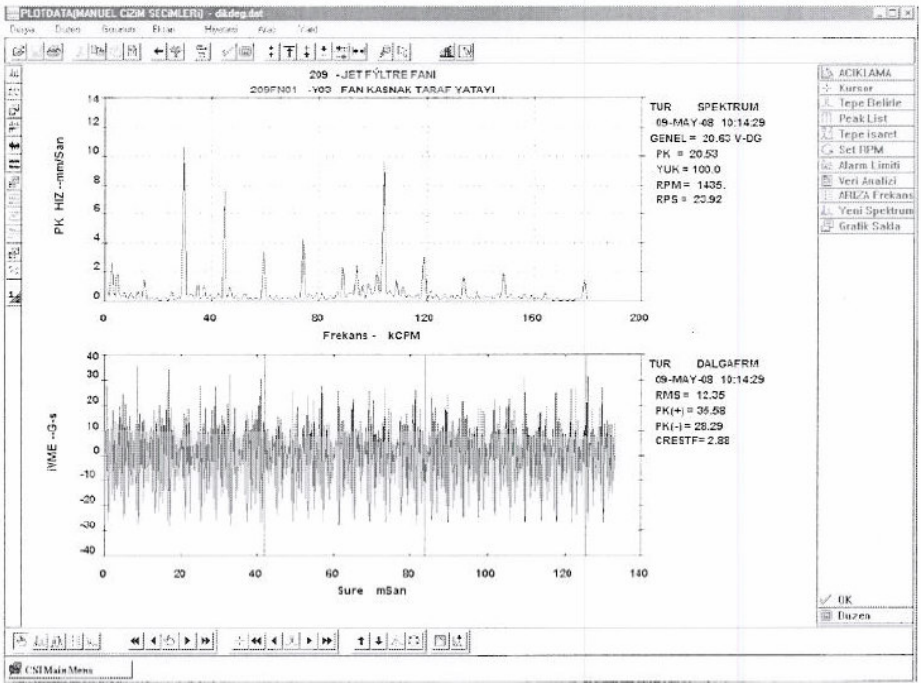
6.7.1 Vibrasyon analizi

Vibrasyon analizi tesis içindeki en kritik işlemlerden biridir. Tesis içinde tüm dönen ekipmanların ölçümü yapılır. Ekipmana bağlı olarak farklı ölçüm periyotları vardır. Genellikle ekipmanlar aylık olarak ölçülür, ancak kritik ekipmanlar için ölçüm aralıkları daha sık olabilir. Örneğin tesisteki en kritik ekipmanlardan olan fırınlar için günde 2 kere ölçüm alınmaktadır.

Akçansa'da bu ölçümler için 2 farklı aygıt bulunur. İki aygıt için de yatay, dikey ve eksenel ölçüm alınır. Alınan ölçümler bir yazılım yardımı ile bilgisayar ortamına

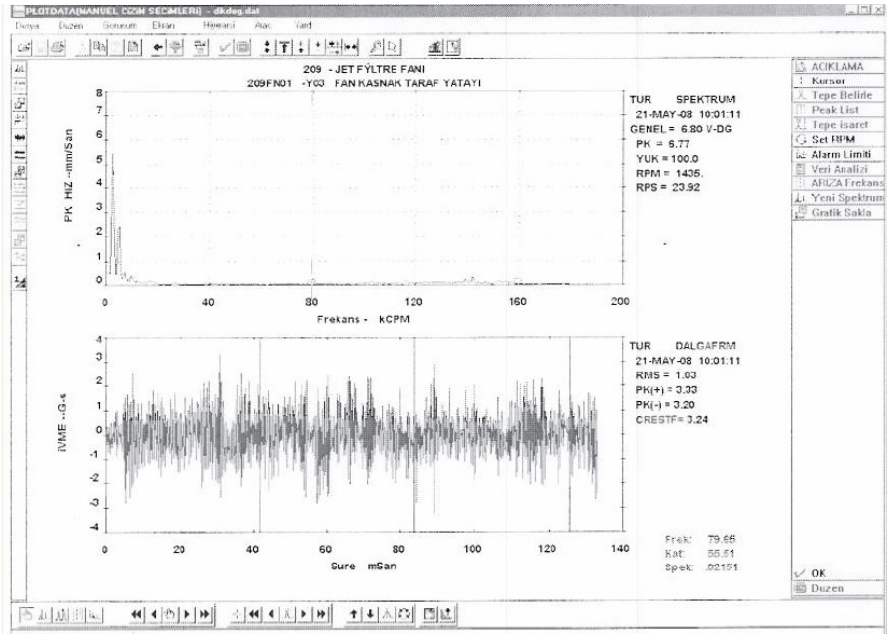
aktarılır. Her ekipman için belirlenmiş olan uyarı, alarm ve arıza düzeyleri dikkate alınarak veriler incelenir. Her bir arızanın hangi frekansta gerçekleştiği bellidir, ölçüm aygıtından alınan frekans değerine göre hangi arızanın olası olduğu belirlenip önlem alınır.

Şekil 6.8'de 09.05.2008 tarihinde jet filtre fanında yapılan ölçümlerde ekipmanın normal çalışma koşullarından saptığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.8 : Arıza öncesi alınan ölçüm

Frekans değerleri ve ekipman geçmişine ait veriler incelendikten sonra fan rulmanlarında dış bilezik arızası olduğu belirlenmiştir. Fan rulmanları 17.05.2008 tarihinde değiştirilmiştir. Şekil 6.9' da 21.05.2008 tarihinde alınan ölçümler ile arızanın giderildiği gösterilmektedir. Zamanında önlem alınarak fanın plansız duruşu engellenmiştir.



Şekil 6.9 : Bakım sonrası alınan ölçümler

6.7.2 Yağ analizi

Yağ analizi, yıl içinde 3 ayda bir (toplam 4 kez) yapılmaktadır. Ekipmanlarda kullanılan yağlardan kaplarla örnekler alınıp, anlaşmalı laboratuarlara yollanılmaktadır. Çıkan sonuçlara bağlı olarak yağın değiştirilmesi veya kullanımının devamı kararı verilmektedir. Her bir ekipmanın alt parçaları, bu parçalarda kullanılan yağların cinsi, yağ kapasitesi, numûnenin alındığı tarih, yağın son değişim tarihi ve analiz sonucu eylemleri içeren formlar bulunur (Şekil 6.10). Bu formlar doldurularak ekipmanın ve alt parçalarının yağ analizlerine ait hareketler üst yönetime raporlanır.

AKÇANSA ÇİMENTO SANAYİ A.Ş.
BÜYÜKÇEKMECE FABRİKASI

YAĞ ANALİZİ YAPILAN YERLER

Yağ Numunelerinin Gönderildiği Tarih							23.10.2008	
Konşimento nosu								
Sıra	Analiz Kodu	Ekipman Adı	Yağ Cinsi	Yağ Kapasitesi (Lt.)	Numunenin Alındığı Tarih	Yağın Son Değişim Tarihi	Analiz Sonucu Eylem	
	4. KIRICI							
1	204-HU01	Hidrolik sistem		80				
2	204-HU02	Hidrolik sistem		150	09.10.2008			
3	204-LB02	Redüktör		75				
4	204-LB03	Redüktör		90	21.10.2008			
	HAMMADDE HOMOJENE							
5	205-HU01	Hidrolik sistem		600	09.10.2008			
6	205-HU02	Hidrolik sistem		96				
7	205-KZ01	Kazıyıcı Redüktörü		145				
	KÖMÜR KIRICI							
8	206-HU01	Hidrolik sistem		70				
	KÖMÜR HOMOJENE							
9	207-HU01	Hidrolik sistem		200				
	FARİN DEĞİRMENİ - 1							
10	208-FD01 A	Değ.Giriş Boyun Yatağı - A		160	21.10.2008			
11	208-FD01 B	Değ.Çıkış Boyun Yatağı- B		160				
12	208-AT01	Değirmen Tahrik Redüktörü-1		620	09.10.2008			
13	208-AT02	Değirmen Tahrik Redüktörü-2		620	09.10.2008			

Şekil 6.10 : Yağ analizi formu

6.8 Revizyon

Büyükçekmece Fabrikası senede bir kere 15-20 gün süren bir revizyona girer. Öncelikli olarak fırınlar ve ilgili çimento ve kömür değirmenleri bakıma alınır. Fırınların ve ilgili tesisin durdurulması ve bakıma alınması çok maliyetli bir süreç olduğundan revizyon boyunca tüm ekipmana ilişkin alt parçalar incelenerek, önceden belirlenen bakım işlemleri yapılır.

Revizyon kapsamında öncelikle fırınlar soğutulur. Fırınların tuğlaları incelenerek, hasarlı tuğlaları sökme ve yeniden örme işlemleri yapılır. Soğutucu levhalar ve fanlar elden geçirilerek, gerekli parçalar değişitirilir. Aşınan parçaların onarımı yapılır.

Fırınlarla birlikte siklonlar, farin değirmenleri ve siloları, kömür ve çimento değirmenleri de bakıma girer. Sızdırmazlık kontrolu, sacların aşınma ve çatlak kontrolu ve kalınlık ölçümleri yapılarak, revizyon süresinde ayrıntılı olarak tüm ekipman elden geçirilir.

6.9 Öneriler

Güvenilirlik merkezli bakım, bakım maliyetlerini azaltmak için koruyucu, kestirimci ve düzeltici bakım stratejilerinin en iyi kombinasyonunu oluşturmayı hedefler. Bu üç bakım türü de Akçansa Büyükçekmece Fabrikası'nda uygulanmaktadır.

Güvenilirlik merkezli bakımın ilk adımı, bu bakım yönteminden en çok yarar görecek ekipmanların seçilmesidir. Akçansa için bu ekipmanlar; farin, çimento ve kömür değirmenleri ve fırın gibi kritik olanlarıdır. Kısıtlı kaynaklar sözkonusu olduğunda, diğer ekipmanlara bu bakım yöntemini uygulamak biraz maliyetli olabilir.

Güvenilirlik merkezli bakımın temelini arıza modları ve etkileri analizi oluşturur. Bu analizin en iyi şekilde sonuç verebilmesi için sistemdeki olası tüm arızaların belirlenmesi gerekir. Akçansa'da kritik ekipmanlarda arıza modları ve etkileri analizi yapıldığında en ciddi arıza sonuçlarına neden olabilecek arızalar belirlenebilir. Bu tür arızalara odaklanarak en uygun bakım stratejisini belirlemek, arızaların sisteme verdiği hasarı ve düzeltici bakım maliyetlerini oldukça azaltacaktır.

Ekipmanlar ve alt parçalar için karar diyagramları oluşturulmalı ve bu diyagramlara göre arızi bakım, proaktif işlem veya varsayılan eylemden hangisinin uygulanacağı

belirlenmelidir. Bu yöntemle etkisi az olan ve planlı bakım maliyeti arızi bakım maliyetinden daha yüksek olan birtakım arızalar için düzeltici bakım kararı verilebilir. Bu karar da bakım maliyetlerinin düşmesine yardımcı olabilir.

Bakım aralıklarına karar verilip, güvenilirlik merkezli bakım uygulamaya koyulduktan sonra optimizasyon aşamasına dikkat edilmelidir. İlk dönemlerde oluşan bakım maliyetleri, geçmiş verilerle karşılaştırılmalıdır. Planlı bakımın maliyet verilerinin, güvenilirlik merkezli bakımın maliyet verilerinden daha iyi olduğu durumlarda, güvenilirlik merkezli bakımın süreçleri incelenmeli ve gerekli düzeltmeler yapılmalıdır.

Güvenilirlik merkezli bakım stratejisini uygulamaya koymak, Akçansa Büyükçekmece Fabrikası için var olan bakım sistemine kıyasla daha az maliyetli bir seçenek olabilir. Bu seçeneğin değerlendirilmesi tesis kapsamında daha etkin bir bakım stratejisinin oluşturulmasını da sağlayacaktır.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

"Güvenilirlik Merkezli Bakım ve Bir Endüstriyel Uygulama" başlıklı çalışmada endüstrilerde bakımın önemi ve gerekliliği konusunda inceleme yapılmıştır. Bu çalışma içerisinde endüstriyel bakım ile ilgili temel tanımlara yer verilmiş ve bakım işlevleri konusuna değinilmiştir.

Bir işletmede uygulanabilecek bakım politikaları hakkında incelemeler yapılmış ve hangi ölçütlerin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. İşletmelerde uygulanan bazı bakım politikalarından örnekler verilmiştir.

İşletmelerin bakım politikalarını belirlemedeki en önemli ölçüt maliyet olup, bu maliyetin gelişen teknoloji ile ilişkisi belirtilerek bakımın tarihsel gelişimi incelenmiştir.

Bakımın tarihsel gelişimi incelendiğinde, bakım faaliyetlerinin üç kuşakta değişime uğradığı görülmüştür. Bu değişimler, endüstride oluşan değişimlere paralellik göstermektedir.

Günümüz teknolojisinde üretimde kullanılan ekipman ve makinaların karmaşık yapısı, klasik bakım yaklaşımlarının yetersizliğini ortaya çıkarmış ve bu da yeni bakım teknolojilerinin araştırılmasına neden olmuştur. Yapılan incelemeler ve araştırmalar sonucunda bakım yaklaşımlarında;

- Plansız bakım
- Planlı bakım
- Üretken bakım
- Toplam üretken bakım
- Güvenilirlik merkezli bakım

şeklinde bir gelişim görülmüştür.

İlk bakım yaklaşımlarından olan plansız bakımda, arıza oluştuktan sonra onarım yapılması anlayışı yer almaktadır. Bu bakım anlayışının maliyeti, incelenen tüm

bakım anlayışlarının maliyetlerinden daha yüksektir. Bunun nedeni ise arızaların ani ve zamanının belirsiz olması nedeniyle yedek parça gereksiniminin de plansız oluşudur.

Daha sonra planlı bakım geliştirilerek bakımda bir düzen yaratılmış çeşitli ölçütler altına alınmıştır. Bu bakım yaklaşımında zaman esaslı olarak periyodik bakıma yer verilmiş veya ekipmanların durum izlemesi yapılarak kestirimci bakım anlayışı geliştirilmiştir. Koruyucu bakım anlayışında belirli periyotlarda bakım yapıldığından arıza riski azaltılmış ve gerekli önlemler alınmıştır. Ancak burada da bakım gerekmeyen zamanda da bakım yapıldığından, maliyet artmaktadır. Bunun yerine benimsenen bakım ise kestirimci bakım anlayışıdır. Kestirimci bakım anlayışında ise makina ve ekipmanların çeşitli özellikleri izlenerek arıza riski gözlendiğinde, bakım yapılarak duruşların engellenmesi sağlanmaktadır.

Bu iki bakım anlayışı da endüstrinin gelişimine ayak uyduramadığı ve halâ maliyeti yükselttiği için yeni arayışlar sürmüş ve sonrasında üretken bakım ve toplam üretken bakım anlayışları doğmuştur. Bu iki bakım anlayışında da üretimin sürekliliği esas alındığından duruşların, arızaların ve hataların sıfıra indirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, ekipmanların çeşitli aygıtlarla bazı parametrelerinin rutin kontrolleri yapılmakta ve bunlar grafikler halinde izlenmektedir.

Bu analiz ve değerlendirme raporlarına göre bakım faaliyetleri makina operatöründen başlanarak en üst düzey yöneticiye kadar ilgili tüm personeli içermektedir. Bu iki bakım anlayışına kadar "üretimci üretir, bakımcı bakar" anlayışı varken PM ve TPM ile bakım faaliyetleri üretimcileri de içermektedir. Elbette PM ile TPM arasında da farklar bulunmaktadır ve ilgili bölümde karşılaştırmalı bir çizelge ile verilmiştir.

PM ve TPM, güvenilirlik merkezli bakıma (RCM) temel oluşturmuş ve araştırmacılar bu iki yaklaşımdan yola çıkarak önceliğin güvenlik olduğu bakım yaklaşımını oluşturmuşlardır. RCM süreci, klasik bakım yaklaşımı olan önleyici ve kestirimci bakım yaklaşımı kavramlarını da içerisine almıştır. Bu bakım yaklaşımında, işletmelerde ortaya çıkabilecek arızalar önceden belirlenmekte ve buna göre gerekli önlemler alınmaktadır. RCM ile işletmelerde kontrol altında tutulması gereken birimler arasına çevre de girmiştir.

Tüm bunların yanında çalışmada, tüm bakım yaklaşımlarının bilgisayar ile bütünleşerek işletmelere uygulanabileceği belirtilmiş ve bunun yararlarından

sözedilmiştir. Bir bilgisayarlı bakım yönetim sisteminin (CMMS) işletmeye uygulanması için oluşturulan projenin adımları verilmiştir.

Uygulama bölümünde Türkiye'nin en önemli çimento fabrikalarından birinin uyguladığı farklı bakım yaklaşımları irdelenmiştir. Koruyucu, kestirimci ve düzeltici bakım uygulayan firma için güvenilirlik merkezli bakım temel alınarak maliyet azaltmayı hedefleyen öneriler üretilmiştir.

Çalışmada, bakım yönetimi konusunda birçok ayrıntıya değinilmiş ve bir işletme için günümüzde bakımın önemi belirtilmiştir. Günümüzde bir işletmenin Avrupa pazarında yer alabilmesi ve varlığını sürdürebilmesi için, üretim kalitesinin standart veya yükselen bir grafik gösterdiği dönemde, bakım kalitesi de bir o kadar önem kazanmıştır.

Bakımın son derece önem kazandığı endüstri dünyasında pek çok çeşidi olan bakım yaklaşımlarından en uygununun seçilerek endüstriye uyumu sağlanmalı ve uygulanmalıdır. Burada en önemli ölçüt maliyet olup, kâr amacı ile çelişmeyen bir bakım politikası uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Baskak, M.,** 2005. İTÜ İşletme Fakültesi Endüstri Müh. Bölümü Bakım Yönetimi Ders Notları.

[2] **Swanson, L.,** 2001**.** Linking Maintenance Strategies to Performance, *Int. J. Production Economics*, 70, 237-244.

[3] **Orjin Yazılım İnternet Sitesi,** PBT Plus Periyodik Bakım Takip Otomasyonu Url: <http://www.orjin.net/pbt_plus_periyodik_bakim_yonetimi.php> alındığı tarih 05.04.2008.

[4] **Eti, M.C., Ogaji, S.O.T., and Probert, S.D.,** 2006**.** Development and Implementation of Preventive Maintenance Practices in Nigerian Industries, *Applied Energy*, 83, 1163-1179.

[5] **Chu, C., Proth, J.M., and Wolff, P.,** 1998**.** Predictive maintenance: The one-unit replacement model, *Int. J. Production Economics*, 54, 285-295.

[6] **Baraçlı, H., Coşkun, S., ve Eser, A.,** 2001**.** Toplam kalite programlarının başarılı olarak uygulanabilmesinde toplam üretken bakım tekniği, *I. Demir-Çelik Sempozyumu*, Zonguldak, 03-05 Ekim, s. 340-341.

[7] **Er, E.,** 2004. Bakım Yönetimi ve Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemlerinin Türkiye'de Uygulama Düzeyi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[8] **Kans, M.,** 2007**.** An approach for determining the requirements of computerised maintenance management systems, *Computers in Industry,* doi:10.1016/j.compind.2007.06.003.

[9] **Gül, S.** Bakım tarihine genel bakış, WFA.
URL: <http://www.uted.org/dergi/2004/kasim/kasim_3.htm>, alındığı tarih 31.04.2008.

[10] **Moubray, J.,** 1997**.** Reliability Centered Maintenance, Industrial Pres, New York

[11] **Kennedy, R.** Examining the Processes of RCM and TPM. Url: <http://www.uted.org/dergi/2004/kasim/kasim_3.htm>, alındığı tarih 05.01.2008.

[12] **Worsham, C.W.,** 2004. Önleyici bakım gerekli midir?, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 45, Sayı 538, 21-23.

[13] **Gharbi, A., Kenne, J.P., and Beit, M.,** 2007. Optimal safety stocks and preventive maintenance periods in unreliable manufacturing systems, *Int. J. Production Economics*, 107, 422-434.

[14] **Kenne, J.P., and Nkeungoue, L.J.,** 2007. Simultaneous control of production, preventive and corrective maintenance rates of a failure-prone manufacturing system, *Applied Numerical Mathematics*, doi:10.1016/j.apnum.2006.11.010.

[15] **Erçelebi, S. G., ve Ergin, H.,** 1997. Maden makinalarında koruyucu bakım onarım planlaması, *Türkiye 15. Madencilik Kongresi,* Ankara, 6-9 Mayıs, 125-132.

[16] **Zhou, X., Xi, L., and Lee, J.,** 2007. Reliability centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation, *Reliability Engineering & System Safety*, 92, 530-534.

[17] **Tavukçuoğlu, M.,** 2003. Toplam verimli bakım ve bakım organizasyonu yönetim sistemi, *Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, MMO, Denizli, 16-19 Ekim, 105-118.

[18] **Kocaciğer H.,** 2003. Durum Kontrollü Bakım Sistemi, *Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, MMO, Denizli, 16-19 Ekim, 127-141.

[19] **Carnero, M.,** 2006. An evaluation system of the setting up of predictive maintenance programmes, *Reliability Engineering & System Safety*, 91, 945-963.

[20] **Parida, S., Kotu, N.R., and Prasad, M.M,** 2000. Development and implementation of reliability centered maintenance using vibration analysis: Experiences at Rourkela steel plant, The 15th WCNDT, Roma; Italy, April 19-23, Retrieved November 11, 2007 from http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn135/idn135.htm

[21] **Chan, F.T.S., Lau, H.C.W., Ip, R.W.L., Chan, H.K., and Kong, S.,** 2005. Implementation of total productive maintenance: A case study, *Int. J. Production Economics*, 95, 71-94

[22] **Erbil, İ., Meran C., ve Tan, E.,** 2003. Bakımda insan faktörü, *Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, MMO, Denizli, 16-19 Ekim, 285-293.

[23] **Nas, E.,** 2001. Toplam verimli bakım yönetimi veya verimlilik ve rekâbet gücü yaratmak, Erkunt San. A.Ş., *Teknik Dergisi*, 126, 20-21.

[24] **Wang, F.-K, and Lee, W.,** 2001. Learning curve analysis in Total productive maintenance, *Omega*, 29, 491-499.

[25] **McKone, K.E., Schroeder, R.G., and Cua, K.O,** 1999. Total productive maintenance: A contextual view, *Journal of Operations Management*, 17, 123-144.

[26] **Hipkin, I.B, and De Cock, C.,** 2000. TQM and BPR: Lessons for maintenance management, *Omega*, 28, 277-292.

[27] **Mather, D.,** 2003. The strategic importance of asset management, 1-8. Retrieved on 12.12.2007 from http://erp.ittoolbox.com/pub/DM110703.pdf.

[28] **O'Donoghue, C.D., and Prendergast, J.G.,** 2004. Implementation and benefits of introducing a computerised maintenance management system into a textile manufacturing company, *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154, 226-232.

[29] **Mather D.,** 2002. CMMS: A Timesaving Implementation Process, CRC Press, Portland OR.

[30] **Rausand, M.,** 1998. Reliability centered maintenance, *Reliability Engineering and System Safety*, 60, 121-132.

[31] **Zafer N., Türkeş, E., ve Kasap, M.,** 2003. Bakım mühendisliği ve yeni teknikler, *Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, MMO, Denizli, 16-19 Ekim, 324-330.

[32] **Mokashi A.J., Wang, J., and Vermar, A.K.,** 2002. A study of reliability centered maintenance in maritime operations, *Marine Policy*, 26, 325-335.

[33] **Şeker, S., ve Ayaz, E.,** 2002. Endüstriyel süreçlerde durum izleme ve öngörülü bakım teknolojileri, *İ. Ü. Müh. Fak. Elektrik-Elektronik Dergisi*, 1, 140-142.

[34] **Gabbar, H.A., Yamashita, H., Suzuki, K., and Shimada, Y.,** 2003. Computer-aided RCM-based plant maintenance management system, *Robotics and Computer Integrated Manufactoring*, 19, 449-458.

[35] **Çebi S., Çelik, M., ve Kahraman, C.,** 2008. Gemi sistemleri için entegre bakım-onarım yönetimi gereksiniminin analizi, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 3, Sayı 4, 17-24.

[36] **Cheng, Z., Jia, X., Gao, P., Wu, S., and Wang, J.,** 2008. A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, 93, 784-792.

[37] **Akçansa Internet Sitesi.**
URL:<http://www.akcansa.com.tr>, alındığı tarih 05.11.2008.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Gizem Ünal

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 04.09.1983

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği