

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜRETİM TESİSLERİ İÇİN
RFID DESTEKLİ BAKIM YÖNETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alperen BAL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜRETİM TESİSLERİ İÇİN
RFID DESTEKLİ BAKIM YÖNETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Alperen BAL
(507101137)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507101137 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Alperen BAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN RFID DESTEKLİ BAKIM YÖNETİMİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Bülent DURMUŞOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İhsan KAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2013**

Savunma Tarihi : **5 Haziran 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında, konu ile ilgili bilgi ve deneyimini benimle paylaşan, ilgi ve önerilerini hiçbir zaman esirgemeyen, tez danışmanlığını özenle yürüten değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU'na ve çalışmama destek sağlayan İTÜ Bilimsel Araştırmaları Destekleme Birimi'ne teşekkür ederim.

Çalışmamın uygulama kısmında döküm fabrikası verilerini kullanmama izin veren tüm firma yetkililerine, planlama mühendisi ve ağabeyim Hüseyin BAL'a ve döküm fabrikasında makine mühendisi olarak çalışan Evrim ALGÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2013

Alperen BAL

(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	3
1.3 Literatür Araştırması Sonuçlarının Değerlendirilmesi	9
2. BAKIM KAVRAMLARI	11
2.1 Kavramlar.....	11
2.1.1 Bakım	11
2.1.2 Güvenilirlik	11
2.1.3 Ortalama arızalar arası süre (MTTF: Mean time to failure)	13
2.1.4 Bakım kolaylığı (Maintainability)	13
2.2 Bakım Türleri	15
2.2.1 Önleyici bakım	15
2.2.2 Düzeltici bakım	16
2.3 Bakım Faaliyetleri	16
3. BAKIM YÖNETİMİ YAKLAŞIMLARI.....	19
3.1 Toplam Değişim Bakım Politikası Modeli.....	19
3.1.1 Sabit zaman aralığında değişim politikası (CIR)	19
3.1.2 Yaşa bağlı değişim politikası (ABR)	20
3.2 Kısmi Değişim Bakım Politikası Modeli (PPR)	21
3.3 Yaşlanmayı Dikkate Alan Bakım Politikaları Modelleri	22
3.4 En İyi Bakım Politikasını Bulmak İçin Kriterler	24
4. BAKIM YÖNETİMİ TEKNOLOJİLERİ VE YAZILIMLARI	27
4.1 Bakım Yönetimi, Planlama ve Çizelgeleme	27
4.2 Bakımda Yapay Zekâ	29
4.3 Yapay Zekâ Teknikleri	29
5. BAKIM YÖNETİMİNDE SİMÜLASYON	31
5.1 Simülasyon Nedir?	31
5.2 Simülasyon Tekniğinin Faydaları	31
5.3 Simülasyon Tekniğinin Dezavantajları	32
6. ÜRETİM SİST. RFID DESTEKLİ BAKIM METODOLOJİSİ	33
6.1 RFID Teknolojisi ve Üretim Sistemine Uygulanması	34
6.2 Veri Toplama Amaçlı Sensör ve Durum Takip Cihazı Entegrasyonu	37
6.3 Sistem Yazılımı	38

7. UYGULAMA.....	39
7.1 Mevcut Sistemin Performans Ölçütleri	39
7.2 Mevcut Sistemin Analizi	42
7.2.1 Kritik makinelerin belirlenmesi	42
7.2.2 Bakım maliyetleri.....	43
7.3 Bakım Kuralları ve Varsayımları	51
7.3.1 Bakım metodolojisi akış diyagramı	51
7.3.2 Bakım modellemesinde simülasyon tekniği.....	52
7.4 Geliştirilen Senaryolar.....	53
7.4.1 Senaryo 1: Periyodik bakım politikası	53
7.4.2 Senaryo 2: Fırsatçı bakım politikası.....	61
7.4.3 Senaryo 3: Durum esaslı bakım (CBM) destekli fırsatçı bakım	63
7.5 Önerilen RFID Destekli Bakım Yönetiminin Fizibilite Analizi.....	65
7.6 Yatırımın Monte Carlo Simülasyonu ile Analizi.....	66
7.6.1 Monte Carlo simülasyonu metodolojisi	67
7.6.2 Bir yıl için yatırım analizi	67
7.6.3 Üç yıl için yatırım analizi.....	68
7.6.4 Beş yıl için yatırım analizi	699
7.6.5 Monte Carlo simülasyonu sonuçları.....	699
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

KISALTMALAR

ABR	: Age Based Replacement
AGV	: Automatic Guided Vehicle
CBM	: Condition Based Mointenance
CIR	: Constant Interval Replacement
CM	: Correctvie Maintenance
CMP	: Correctvie Maintenance Policy
CMS	: Cellular Manufacturing System
FMEA	: Failure Modes and Efects Analysis
FMC	: Flexible Manufacturing Cell
FMS	: Flexible Manufacturing System
IPM	: Imperfect Preventive Maintenance
JIT	: Just in Time
NŞD	: Net Şimdiki Değer
MTTF	: Mean Time to Failure
MTTR	: Mean Time to Repair
OTP	: Opportunity Triggered Maintenance Policy
OYF	: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
PM	: Preventive Maintenance
PLM	: Product Lifecycle Management
PPR	: Partial Preventive Replacement
RFID	: Radio Frequency Identification
TEC	: Total Expected Cost

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Bakım yönetimi yetersizliğinin yönetim teknikleri üzerindeki bozucu etkisi	2
Çizelge 6.1 : Üç temel RFID sistemi	35
Çizelge 6.2 : Uygulama referans tablosu	35
Çizelge 7.1 : Döküm fabrikası performans kriterleri ve hedefleri	41
Çizelge 7.2 : Kritik makine analizi	43
Çizelge 7.3 : Döküm fabrikası yıllık bütçesi	47
Çizelge 7.4 : Tesisin 10 yıllık yedek parça ihtiyacı	49
Çizelge 7.5 : Kum bileşenleri ve yıllık kum maliyeti	50
Çizelge 7.6 : Periyodik bakım politikası sonuçları	60
Çizelge 7.7 : Fırsatçı bakım politikası sonuçları	62
Çizelge 7.8 : Durum esaslı bakım destekli fırsatçı bakım politikası sonuçları	64
Çizelge 7.9 : Önerilen bakım yönetimi sisteminin bütçesi	65
Çizelge 7.10 : %5 güvenilirlik artışı sağlandığında iki sistemin karşılaştırılması	68
Çizelge 7.11 : %15 güvenilirlik artışı sağlandığında iki sistemin karşılaştırılması	68
Çizelge 7.12 : %10 güvenilirlik artışı sağlandığında iki sistemin karşılaştırılması	69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Toplam arıza döngüsü.	14
Şekil 2.2 : EN 13306:2001 standardına göre bakım türleri.	15
Şekil 3.1 : Sabit zaman aralığında değişim politikası.	20
Şekil 3.2 : Yaşa bağlı değişim politikası.	21
Şekil 3.3 : Ekipman yaşına kusurlu önleyici bakımın etkisi.	22
Şekil 6.1 : Sistemin genel şeması.	34
Şekil 6.2 : RFID sıcaklık sensörü.	37
Şekil 7.1 : Personel dağılım grafiği.	39
Şekil 7.2 : Bakım metodolojisi akış diyagramı.	52
Şekil 7.3 : Simülasyon modelleme metodolojisi.	52
Şekil 7.4 : Tesis bakım planı.	53
Şekil 7.5 : Döküm hattı.	54
Şekil 7.6 : Haftalık duruş süresi.	55
Şekil 7.7 : Haftalık arıza sıklığı.	55
Şekil 7.8 : Bir haftalık süre için hattın güvenilirliği.	57
Şekil 7.9 : Arena üzerinde kurulan model.	58
Şekil 7.10 : Makine değişkenlerini tanımlama ekranı.	59
Şekil 7.11 : Planlı duruşlar oluşturma ekranı.	59
Şekil 7.12 : Planlı duruş tanımlama ekranı.	60
Şekil 7.13 : Arıza tanımlama ekranı.	60
Şekil 7.14 : Fırsatçı bakım politikası.	61
Şekil 7.15 : Fırsatçı bakım politikası maliyetleri ile periyodik bakım politikasının birbiri ile karşılaştırılması.	62
Şekil 7.16 : Durum esaslı bakım (CBM) destekli fırsatçı bakım politikası.	63
Şekil 7.17 : Makinelere güvenilirlik tanımlanması.	64
Şekil 7.18 : Monte Carlo simülasyonu metodolojisi.	67
Şekil 7.19 : Monte Carlo simülasyonu sonuçları.	69

ÜRETİM TESİSLERİ İÇİN RFID DESTEKLİ BAKIM YÖNETİMİ

ÖZET

Günümüzde sanayi işletmeleri, geçmişte olduğundan daha yoğun bir rekabet ortamında faaliyetlerini sürdürmekte ve daha dar kar marjları ile çalışmaktadırlar. Artan rekabet şartları, yükselen teknoloji düzeyi ve en küçük stok seviyeleri ile çalışılmak istenmesi gibi sebepler ile işletmeler üretim hattındaki arızaları en düşük seviyede tutmaya çalışmaktadırlar. Bu amaçla kullanılan en önemli araçlardan birisi simülasyondur. Simülasyon kullanılarak sistem üzerinde yapılmak istenen değişiklikler hızlı ve güvenilir bir şekilde, düşük maliyetler ile gerçekleştirilir.

Bu çalışmanın amacı üretim sistemlerinde gerçekleştirilen bakım faaliyetlerini analiz etmek ve RFID destekli bakım önererek bu sistemin etkinliğini araştırmaktır. Bunun yanında tesisler için farklı bakım senaryoları geliştirmek hedeflenmiştir. Simülasyon geliştirilen senaryoların sistem üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Uygulama aşaması ise elektrik ocaklarının döküm parçalarının imalatını yapan bir işletmede gerçekleştirilmiştir.

Uygulama çalışmasının yapıldığı işletmenin güncel durumunu analiz etmek amacıyla, bakım verileri toplanmış, personel dağılımı, makine altyapısı incelenmiş ve bütçe verileri değerlendirilmiştir. Tesis için OEE değerini hesaplamak amacıyla kullanılabilirlik, performans ve kalite metrikleri ölçülmüş ve %55 OEE değeri elde edilmiştir. Üretim hattındaki makineler için kritik makine analizi yapılmıştır. Bunun yanında tezde önerilen metodoloji ile bakım maliyetleri hesaplanmıştır. Bu metodolojiye göre bakım maliyetleri; personel maliyetleri, ara stok ve yedek parça elde bulundurma maliyeti, ara stok ve yedek parça elde bulundurmama maliyeti, plansız duruş maliyeti olarak dört ana kalemden ele alınarak hesaplanmış ve toplam bakım maliyetinin toplam bütçeye oranı %12,27 olarak belirlenmiştir.

Çalışmada ele alınan tesisin mevcut durum analizi yapıldıktan sonra, hali hazırda kullanılmakta olan bakım stratejisine alternatif olarak iki farklı senaryo geliştirilmiştir. Öncelikle mevcut durum simülasyon modeli kurulmuş ve belirlenen performans ölçütleri ile geliştirilen iki senaryo bu model ile karşılaştırılmıştır. Modelleme çalışması ARENA simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Mevcut bakım stratejisi belirlenen performans ölçütleri ile ortaya konduktan sonra geliştirilen ilk senaryoda fırsatçı bakım politikası oluşturulmuştur. Geliştirilen bu bakım politikasında her hafta düzenli olarak gerçekleştirilen bakım faaliyetlerinin süresinin yarı yarıya azaltılması ve bir makine/parça arızalandığında bakım personelinin önleyici bakım çalışmalarını da yapması önerilmiştir.

Geliştirilen ikinci senaryoda durum esaslı takip sağlayacak RFID destekli bakım yönetimi sisteminin kullanımının belirtilen performans ölçütleri ile değerlendirmesi yapılmıştır. Önerilen RFID destekli bakım yönetimi sistemi cihazlar üzerine RFID

etiketler yerleştirmek suretiyle cihazları tanımlamakta ve bakım personelinin elindeki tablet bilgisayarlardan veri girişini sağlamaktadır. Bunun yanında kullanılan sensor ve durum takip cihazları ile makine durumları anlık olarak takip edilebilmekte ve arıza öngöröleri yapılabilmektedir. Geliştirilen senaryoda hattın güvenilirliğinde sırası ile %5, %10 ve %15 iyileşme durumlarının sağlanması değerlendirilmiştir.

Karşılaştırma ölçütleri olarak; üretilen toplam ürün sayısı, toplam planlı duruş sayısı, arıza sayısı, toplam arıza zamanı ve maliyet dikkate alınmıştır.

Geliştirilen senaryoların belirlenen performans ölçütleri ile değerlendirilmesinin ardından önerilen RFID destekli bakım yönetimi sisteminin yatırım analizi yapılmıştır. Yatırım maliyeti; personel, alet / teçhizat / yazılım / yayın ve hizmet alım giderleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Modelleme @RISK simölasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Geliştirilen senaryoda tesiste hali hazırda uygulanmakta olan zaman esaslı bakım stratejisi ile durum esaslı bakım stratejisi karşılaştırılmış ve durum esaslı bakım (CBM) için yapılan yatırımın; 1 yıllık, 3 yıllık ve 5 yıllık sürelerde karlı olma olasılıkları araştırılmıştır.

RFID BASED MAINTENANCE MANAGEMENT FOR PRODUCTION FACILITIES

SUMMARY

Today, industrial enterprises working in more competitive environment and more intensive work with narrowed profit margins than in the past. Due to the reasons such as increased competition conditions, high level of technology and desire to work with minimum stock levels, facilities are trying to production line at the lowest level of failure. Simulation is one of the most important tool that is used for this purpose. Desired alterations on the system can be done fast and reliable manner by simulation and carried out with lowers costs as well.

The aim of this study is to analyze maintenance activities which is carried out on production lines and to offer RFID-based maintenance system by investigating its effectiveness. In addition to that different maintenance scenarios were aimed to be developed to plants. Simulation technique was used to determine the effects of developed scenarios on the system. The implementation phase was carried out in a foundry plant which has manufacturing capacity of 10.000 per annum. It utilises Rhein Stahl horizontal moulding line to produce repetition casting generally within a weight range of 0,4 kg to 50 kg.

In this study RFID technology which has various application areas is proposed for the purpose of maintenance management for production facilities. This system automatically collects the data's of critical machines on the production line and takes action according to predefined rules. In this system the device identification data is stored on RFID tags which is mounted on critical machines.

Beside, maintenance personnel will have tablet computers to enter the maintenance data of carried out maintenance activities instantly. In this way, it will not be necessary to enter the maintenance data of implemented maintenance activities separately. Thus, workload will be reduced.

Sensors will be placed on critical machines with the aim of monitorizing the variables such as temperature, vibration, oil quality, noise, pressure, force, angular velocity of machines. These sensors are capable of wireless data transfer and in the facility RFID readers will be placed on appropriate locations. Thus, data's will be collected through RFID readers instantly.

In the system, the data from devices and users will be collected in database. Recommended maintenance policies for the facility will be tested by the analysis of the data.

The best maintenance policy will be selected among different tested maintenance policies. According to the taken action decisions, maintenance schedules and various reports will be established. Also machine and personnel duty assignments will be made.

To analyze the current status of the facility maintenance data are collected, the distribution of personnel, machine infrastructure and budget data are analyzed and evaluated. According to personnel distribution, 7 maintenance personnel, 40 production personnel and 3 quality control personnel is taking charge in the facility. Totally the facility has 50 personnel. In order to calculate the value of Overall Equipment Effectiveness (OEE) for the facility, availability, performance and quality criterias are calculated. Consequently %55 percent OEE value is obtained. In order to determine the critical machines for the production line a critical machine analysis has been performed.

In addition, maintenance costs are assessed with the methodology proposed in this study. According to this methodology maintenance costs are comprise of four main items as personnel cost, buffer stock and spare part holding cost, buffer stock and spare part out of stock cost and unplanned stops cost. So the ratio of total maintenance cost to total budget is obtained as %12,27.

After the analysis of the facility subject to implementation phase of the thesis, two different scenario developed as an alternative to currently used maintenance strategy. Initially, the simulation model established in the current situation. After establishment of the current maintenance model, these two scenario compared with current situation in terms of specific performance criterias. ARENA simulation program is used for modelling the strategies. After the assesment of current maintenance strategy with specific performance criterias, an opportunistic maintenance policy is developed in the first scenario. According to this maintenance strategy, duration of preventive maintenance activities which are implemented as one day for every week will be reduced by half (4.5 hours/week). As for corrective maintenance activities, maintenance staff will implement 1.5 hours PM with CM whenever a machine / unit failure occurred.

For the second scenario RFID based maintenance management system with the purpose of condition based maintenance is evaluated with specified performance criterias. Proposed RFID based maintenance management system works in such a way that RFID tags are mounted on machines. Therefore mahnicas are identified and maintenance staff with tablet PC's provide for the data entry. Beside, sensors and status tracking devices make monitoring of real time status of the machine possible. Thus failure predictions can be made. At this scenario respectively, %5, %10 and %15 percent reliability improvement situations are investigated.

As comparison criteria; total number of products produced, total number of planned stops, total number of failures, total failure time and cost were taken into account.

After the evaluation of proposed scenarios with performance criterias, feasibility of proposed RFID-based maintenance management system is investigated. The investment cost of the system is calculated by maintenance staff cost, tools / equipment / software / publication cost and service cost. Modelling of the proposed investment is performed using @RISK simulation program. According to developed scenario, currently implemented time-based maintenance is compared with condition based maintenance strategy. Possibility of being profitable of the proposed investment to the condition-based maintenance system is investigated for 1 year, 3 years and 5 years working periods respectively.

1. GİRİŞ

Ticari ürünlerin üretiminde ve dağıtım hizmetlerinde kullanılan sistemler endüstri yatırımlarının büyük kısmını oluşturmaktadır. Bu sistemler kullanıma ve yaşa bağlı olarak yıpranmaya maruz kalmaktadır (Valdez-Flores ve Feldman, 1989). Gelişen teknoloji ile daha karmaşık bir hal alan bu sistemlerin, özellikle uçaklar, denizaltılar, nükleer santraller gibi yerlerde güvenilirliği çok kritik öneme sahiptir. Bakıma verilen önemin artması yıpranan bu sistemlerin hata vermesini engelleyen, bakım maliyetlerini düşüren ve sistem güvenilirliğini artıran en iyi bakım stratejisinin uygulanması konusunda artan bir ilgi oluşmasına yol açmıştır (Wang 2002).

Dünya genelinde rekabet düzeyinin artması sebebiyle üretim hatlarının kapasite kullanım oranlarının artması hattaki makineleri daha çok yıpranmaya maruz bırakmaktadır. Hattaki makinelerde makine veya ekipman arızaları sebebiyle meydana gelebilecek plansız duruşların dünya ekonomilerine yarattığı maliyet tüm dünyada 2.000.000.000.000\$'ın (iki trilyon dolar) üzerindedir ve sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde bu kayıpların yaklaşık 740.000.000.000\$ (Yediyüz kırk milyar USD) civarında olduğu tahmin edilmektedir (DiStefano ve diğ. 2006).

Küreselleşen ekonomiler ve artan rekabet düzeyi dünya genelindeki işletmeleri, tesislerini en verimli şekilde çalışır durumda tutmaya zorlamaktadır. İşletmelerin elde ettikleri kar oranlarının eskisi kadar yüksek olmaması sebebiyle yaşanacak en küçük bir aksaklık elde edilen karın kaybolmasına yol açmaktadır. Bu kapsamda işletmelerin üretim planlarından şaşmamaları, stok tutmak zorunda kalmamaları gibi nedenler ile verimli bir şekilde hattın bakım faaliyetlerini gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Üretim sistemlerini daha verimli hale getirmek ve kayıpları azaltmak adına uygulanan çeşitli üretim felsefeleri bulunmaktadır. Çizelge 1.1 farklı üretim felsefelerinin bakım açısından karşılaştırılmasını göstermektedir.

Çizelge 1.1 : Bakım yönetimi yetersizliğinin yönetim teknikleri üzerindeki bozucu etkisi, Çağlar (2009)'dan uyarlanmıştır.

TEKNİK	NİHAİ AMAÇ	BAKIM YÖNETİMİ YETERSİZLİĞİNİN ETKİSİ	AÇIKLAMA
TPM (Total Productive Maintenance) TOPLAM ÜRETKEN BAKIM	SIFIR KAYIP	İLAVE KAYIP	Beklenmedik duruşlar ile %15'e varan üretim kayıplarına ve arızalı sistem ve ayarsızlıklar ile %10'a varan enerji kayıplarına neden olur.
TQM (Total Quality Management) TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ	SIFIR HATA	İLAVE HATA	Beklenmedik duruşlar üretim prosesinin aksamasına üretimin yeniden başlamasına neden olmaktadır.
TSM (Total Safety Management) TOPLAM İŞ GÜVENLİĞİ YÖNETİMİ	SIFIR KAZA	İLAVE KAZA	Çalışmayan güvenlik korumaları ve makinelerdeki arızalı parçalar ilave kazalara neden olmaktadır.
JIT (Just In Time) TAM ZAMANINDA ÜRETİM	SIFIR STOK	İLAVE STOK	Beklenmedik duruşların etkisini azaltabilmek için ilave üretim ve onarım stoku ihtiyacı doğmaktadır.
KAIZEN SÜREKLİ İYİLEŞME	SIFIR KÖTÜLEŞME	İLAVE KÖTÜLEŞME	Beklenmedik duruşlar ve arızalanan cihazlar tesisin iyileşme süreçlerindeki kazanımları kayba çevirmektedir.
LEAN MANUFACTURING YALIN ÜRETİM YÖNETİMİ	SIFIR YANLIŞ ÜRETİM	İLAVE YANLIŞ ÜRETİM	Beklenmedik duruş ve arızalar üretim hatalarına neden olmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Yapılan çalışmada özellikle üretim yapan işletmeler için kritik öneme sahip olan bakım faaliyetlerinin yenilikçi teknolojiler kullanılarak, farklı bakım politikalarında simülasyon tekniği ile test edilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla teknolojik gelişimi II. Dünya Savaşı sırasında olmamasına rağmen endüstriyel alanlarda kullanımı birkaç on yıl önce yaygınlaşmaya başlayan RFID teknolojisinin üretim tesislerinde bakım amacıyla uygulanabilirliği ele alınmıştır. Tesisler için bakım ölçütleri ele alınarak, güvenilirlik merkezli bakım metodolojisi ile en iyi bakımlar arası süreler elde edilmeye çalışılmış ve bunun yanında ekonomik bakım düzeyini yakalamak adına en düşük bakım maliyetlerini çıkarmak hedeflenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Uzun yıllardan beri bakım yönetimi üzerine gerçekleştirilen bir çok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda farklı bakım modelleri kurulmuş ve birçok bakım politikası test edilmiştir. Gerçekleştirilen literatür araştırmasında konu ile ilgili temel kaynaklar ve güncel yayınlar araştırılmış olup, özellikle son zamanlarda yayınlanan makaleler yönelimin hangi yöne doğru olduğunu kestirebilmek adına titizlikle incelenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen yayınları temelde; üretim sistemlerinde bakım yönetimi ve üretim sistemlerinde kullanılan RFID teknolojisi yayınları olarak ikiye ayırmak mümkündür. Gerçekleştirilen literatür araştırmalarında üretim sistemlerinin bakımında RFID kullanımını ele alan yayın sayısının çok kısıtlı olduğu tespit edilmiştir.

Wang (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada üzerinde uzun yıllardır çalışılan bakım ve değişim problemleri genel olarak ele alınmış ve bir literatür değerlendirmesi yapılmıştır. Yayınlar kurulan model türüne göre ve sistem yapısına göre ana gruplara ayrılmıştır. Sistemler; tek üniteli ve çok üniteli sistemler olarak iki ana gruba ayrılmıştır.

Tek üniteli sistemlerde en yaygın kullanılan bakım politikası yaşa bağlı bakım politikasıdır. Bu politikada bir ünite önceden belirlenen T yaşında önleyici bakımla

sürdürülebilir kılınmaktadır. Periyodik bakımda ise sabit T zaman aralıklarında grup ya da blok olarak parça değişimleri yapılmaktadır. Arıza limiti politikasında arıza oranı ve bazı güvenilirlik göstergeleri dikkate alınarak bakım ve parça değişimleri yapılmaktadır. İşlem yükü açısından en çok çaba gerektiren politikadır. Ardışık bakım politikasında zamana göre kısalan aralıklarda bakım ve değişimler yapılmaktadır. Arıza limiti politikasında ürün bakımının değişimden maliyetli olduğu noktalarda yenilemeler yapılmaktadır. Sıklıkla yapılan onarımlardaki eksikliği kapatmak için literatürde bu alanda çalışmalar yapılmıştır. Morimura ve Makabe tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise arıza sayıları hesaplanmış ve referans T zamanları belirlenerek parçalara minimal bakım uygulanmış ve T zamanlarında parça değişimi yapılmıştır. Literatürde daha çok “yaşa bağlı PM bakım politikası” ve “periyodik PM politikası” çalışmaları görülmektedir. “Arıza limiti politikası”, “Tamir limiti politikası” ve “Ardışık bakım politikası” çalışmaları ise daha azdır.

Çok üniteli sistemlerde ise sistemler birbirinden bağımsız ise her bir alt sistem için farklı bakım politikası uygulanabilir. Ancak alt sistemler birbirlerine ekonomik veya yapısal açıdan bağımlı ise bakım kararları birbirinden bağımsız olarak verilemez. Literatürde en çok çalışılan alanlardan birisi “grup bakım politikası”dır. Grup bakım politikasını uygulamak sistem güvenilirliği açısından en iyisidir. Sistem arızalandığında gerçekleştirilen bakım faaliyetleri “fırsatçı bakım” olarak tanımlanır. Çok üniteli sistemler için literatürde yapılan çalışmalar gittikçe artmaktadır.

Rosmaini (2012) tarafından yapılan çalışmada literatürde incelenen temel iki bakım türü olan zaman esaslı bakım (TBM: Time based maintenance) ve durum esaslı bakım (CBM: Condition based maintenance) hakkında yapılan araştırmalar ele alınmıştır. Yapılan çalışmada TBM ve CBM’in bakım hakkında karar vermede ne şekilde kullanıldığı anlatılmıştır. Her iki teknik için farklı olan prensip ve prosedürler açıklanmış, bunun yanında uygulamada karşılaşılan güçlüklerle de değinilmiştir. Sonuç olarak CBM tekniğinin bakım konusunda gerçekçi yaklaşımlar elde etmek için daha elverişli olduğuna vurgu yapılmıştır. TBM tekniği ile gerçekleştirilen bakım analiz ve modellemelerinde birçok istatistiksel kural ve varsayımın olduğu ve bu nedenle yapılan uygulamalarda gerçekçi sonuçların elde edilemediği belirtilmiştir.

CBM tekniğinin uygulanmasında ise birtakım farklılıklar bulunduğu belirtilmiştir. Bu nedenle gerçekçi yaklaşımlar elde edebilmek için CBM tekniği üzerinde yeni çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Savsar (2008), gerçekleştirdiği bu çalışmada çok kademeli üretim hatlarında düzeltici ve önleyici bakım çalışmalarını ele almıştır. Savsar'a göre rassal arızalardan kaynaklanan düzeltici bakımlar kaçınılmazdır ancak parça yıpranmalarından kaynaklanan arızalar önleyici bakım ile parça değişimi yapılarak giderilebilir. Her iki çeşit bakım çalışması ciddi üretim kayıplarına sebep olmaktadır. Bu nedenle istasyonlar arasında tampon stoklar oluşturulabilir ve kayıplar bölgesel olarak sabitlenebilir. Makalede hattın çeşitli bakım faaliyetleri altında ve sonlu tampon kapasiteleri ile durumunu incelemek için kesikli matematik model geliştirilmiştir. Simülasyon programının içine yerleştirilen model ile gerekli iterasyonlar yapılarak üretim hattının analizi yapılmıştır. Geliştirilen model iki farklı vak'a üzerinde altı farklı bakım politikası ile test edilmiştir. Bu şekilde üretim çıktı miktarı kontrol edilmiş ve tampon kapasitelerdeki değişim gözlenmiştir.

Savsar (2006), yaptığı çalışmada bir esnek imalat hücresinin (FMC) üretkenliği, analitik model ve simülasyonu birleştiren bir yöntem ile farklı bakım politikaları altında test edilmiştir. Kullanılabilirliğin bir fonksiyonu olan üretim çıktı hızı, farklı bakım politikaları ve arızalar arası ortalama süreler ile belirlenmiştir. Çalışmada altı farklı bakım politikasında sistemin performansı araştırılmıştır. Makalede rassal arızaları ve yıpranmadan kaynaklanan arızaları birbirinden ayırmak için bir matematik model kurulmuştur. Kurulan matematik modeli ve simülasyonu uygulamak için bir FMC tasarımı kullanılmıştır. FMC'de farklı bakım politikaları altında çeşitli simülasyonlar yapılmıştır. Performans ölçütü simülasyon süresince ürün çıktı miktarı olarak belirlenmiştir. Farklı bakım politikalarını birbirleri ile kıyaslamak adına tam güvenilir hücre kabulü yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde tüm durumlar için en iyi performansı veren bakım politikasının *opportunity triggered maintenance policy (OTP)* olduğu görülmüştür, en kötü performans verenin ise *corrective maintenance policy (CMP)* olduğu görülmüştür.

Savsar (2005), yaptığı bu çalışmada bir esnek imalat sistemi (FMS) için, farklı arıza zamanları ve dağılımlarında, farklı bakım politikaları ile FMS'nin üretim çıktı oranını bir analitik model ve simülasyon kullanarak araştırmıştır. Savsar'ın yaptığı varsayıma göre önleyici bakım (PM) uygulandığında yıpranmalardan kaynaklanan arızalar ortadan kaldırılmaktadır. Bunun sebebi yıpranan parçaların PM zamanlarında yenileri ile değiştirilmesidir. Bu şekilde yıpranmadan kaynaklanan arızalar ortadan kaldırılmaktadır. Rassal nedenlerden kaynaklanan arızalar üstel (eksponansiyel) dağılıma uymaktadır çünkü bu arızalar tamamıyla tahmin edilemezdir ve ekipmanın operasyon zamanından bağımsızdır. Yani üstel (exponential) dağılımın hafızası yoktur. Kurulan matematik modelin simülasyon yapılarak test edilmesi için bir FMS ele alınmıştır. Performans ölçütü olarak simülasyon süresince üretim çıktı oranını baz alan FMS kullanılabilirlik endeksi belirlenmiştir. Her bir simülasyon deneyi bir aylık çalışma periyodu için yapılmıştır. Toplamda, farklı koşulları içeren dört farklı deney gerçekleştirilmiştir. Farklı deney koşullarında en iyi performans veren bakım politikası *opportunity triggered maintenance policy (OTP)*, en kötü performans veren bakım politikası ise *corrective maintenance policy (CMP)* olarak tespit edilmiştir.

Das (2007), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bir hücreli imalat sistemi için performansı artırmak amacıyla tam sayılı programlama kullanılarak önleyici bakım modeli geliştirilmiştir. Ekipman arıza sürelerinin Weibull dağılımına uyduğu varsayılmıştır. Önerilen model ile toplam bakım maliyeti ve ekipmanların toplam arıza olasılığı minimize edilmeye çalışılmıştır. Model, birleştirilmiş güvenilirlik ve maliyet temelli yaklaşım ile arzu edilen makine güvenilirlik seviyesinde, bakım maliyetlerini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Makalede aynı zamanda önerilen PM modelinin entegre edildiği bir CMS tasarımı da yapılmıştır. Makalede maliyet temelli, güvenilirlik temelli ve birleştirilmiş model olmak üzere üç farklı model önerilmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar göstermiştir ki modelin oluşturulması ve bu modelin bir CMS üzerinde uygulanması ile maliyet performansında ve güvenilirlikte artış sağlanmıştır. Ancak yapılan çalışmada verilere erişilebilirlik çok sınırlı olduğundan, verilerin çoğu rassal olarak üretilmiştir. Gerçek endüstriyel uygulamalarda veri eksikliğinin bulunduğuna vurgu yapılmıştır.

Abdul-Nour (1998) tarafından gerçekleştirilen bir vak'a analizi olan çalışmada bir tesis için kritik makinelerin seçilmesi ve bu makineler esas alınarak bakım politikaları geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda FMEA analizleri yapılmış ve dört kriter esas alınarak kritik makineler belirlenmiştir. Bu kriterler: Üretim sürecinde makinenin arızalanmasının etkisi, makinenin kullanım oranı, makine arızasının çevreye ve güvenliğe etkisi, makinenin teknik karmaşıklığı ve dışarıdan bakıma duyduğu ihtiyaç. Yapılan çalışma neticesinde makinelerin çoğunun küvet eğrisinde olgunluk döneminde olduğu ve diğerlerinin yaşlılık döneminde olduğu tespit edilmiştir. Proje neticesinde bakım planları revize edilmiş ve uygulama neticesinde büyük başarı sağlanmıştır.

Albino (1992) yaptığı bu çalışmada tam zamanlı üretim yapan (JIT: Just in Time) sistemler için en iyi bakım politikasını araştırmıştır. JIT sistemin seçilmesinin sebebi bu şekilde çalışan hatlardaki performans kriterlerinin yoğun bir şekilde makinelerin güvenilirliği ile ilişkili olmasıdır. Çalışmada tek bir ürün, arızaları ile birlikte çok kademeli üretim hattı ve iki kartlı bir kanban sistemi kesikli simülasyon tekniği ile modellenmiştir. Verilen arıza oranlarında en iyi politikayı denemek için birçok performans ölçütü değerlendirilmiştir. Önerilen bakım politikalarının sistem üzerindeki etkilerini tam olarak anlayabilmek amacıyla birçok vaka örneği ele alınmıştır.

Yücesan (2002) tarafından yapılan çalışmada çeşitli lokasyonlarda bulunan asansörlerin bakımı konusunda simülasyon ve çizelgeleme yapılmıştır. Birçok lokasyonda bulunan asansörlerin kullanılabilirlikleri üst seviyede tutulmaya çalışılırken, maliyetler de makul düzeylerde tutulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla bir CBM sistem kullanılmıştır ve ekipman bakım seviyeleri takip edilmiştir. Bakım kuralları oluşturulmuş ve bir bakım algoritması geliştirilmiştir. CBM sisteminin entegre edildiği bir simülasyon modeli kurulmuş ve CBM sisteminin maliyeti tahmin edilmiştir.

Altug'er'in (2009) gerçekleştirdiği çalışmada bir üretim tesisinde hat performansını geliştirerek çıktı miktarını en iyileyen simülasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmada en iyi performans değerlerini elde etmek amacıyla çok kriterli karar verme yaklaşımı

önleyici bakım çizelgesini oluşturmak için uygulanmıştır. Arena temelli simülasyon kullanılarak yapılan çalışma simülasyonun Arena programında faydalı ve anlaşılır bir örneği olup, tez çalışmasında başvuru kaynakların başlıcalarındandır.

Ko (2009) tarafından yapılan çalışmada RFID teknolojisi geleneksel bina bakım yönetim çözümlerini geliştirmek amacıyla uygulamaya alınmıştır. Sistemde bakım ekibi ellerindeki RFID okuyucu ileştirilmiş tablet bilgisayarlar ile RFID etiketlerden cihazlara ait verileri okuyup, yazılmaktadır. Böylece bakım ekibi, bakım faaliyetlerini web tabanlı uygulamayı internet browser kullanarak gerçekleştirecektir. Bakım hakkındaki bütün bilgilere tek bir veri tabanı üzerinden internet kullanılarak gerçek zamanlı erişim sağlanmaktadır. Yazılım otomatik olarak hangi bakım ne zaman yapılacağına uyarısını vermekte ve otomatik olarak bakım periyotları oluşturabilmektedir. Yazılımda; yönetim, istatistik ve çizelgeleme olmak üzere üç modül oluşturulmuştur. Tasarlanan sistem Tayvan'ın Taipei şehrinde 5 katlı ve içerisinde 12 çeşit laboratuvar bir bina için uygulanmıştır. Bakım çalışmaları bina içerisinde bulunan ekipmanların bakımı ve tesisin bakımı olarak ikiye ayrılmıştır. Bakım personellerinin gerçekleştirdiği faaliyetler gerçek zamanlı olarak sisteme girilmiş ve bakım çizelgeleri oluşturulmuştur. Böylece bakımda hazırlık faaliyetlerine ayrılan zaman ve bakım için harcanan çaba azaltılmıştır.

Jun (2007) yaptığı bu çalışmada yeni geliştirilen teknolojileri kullanarak kapalı çevrim ürün yaşam döngüsü üzerine yapılan çalışmaların değerlendirilmesi yapılmıştır. PLM işletmelere rekabet edebilirlik avantajı sağlamasına rağmen uygulama kısmında sorun çıkaran problemler olabilmektedir. Yapılan çalışmada ürün yaşam çevriminin olgunluk devresinde kestirimci bakımın öneminden bahsedilmiştir. Bunun yanında ürün ömrü sonu kararlarının verilmesinde RFID teknolojisinin kullanımından da bahsedilmiştir.

Üstündağ (2010) gerçekleştirdiği çalışmada bir RFID yatırımının ekonomik analizi Monte Carlo simülasyonu tekniği ile yapılmıştır. RFID yatırımının değerini ölçmek amacıyla Bhuptani ve Moradpour (2005) tarafından belirtilen fayda ve maliyet kalemleri göz önünde bulundurulmuştur. Müşteri siparişlerinde beklenen artışı

modellemek amacı ile bulanık mantık kullanılmıştır. Önerilen yatırımın NŞD (Net Şimdiki Değer) hesabını yapmak amacı ile Monte Carlo simülasyonu uygulanmıştır.

1.3 Literatür Araştırması Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Literatürde araştırılan makaleler bakım hakkında olanlar ve RFID teknolojisi hakkında olanlar olarak ikiye ayrılabilir. Bakım ile ilgili incelenen çalışmalarda üretim ortamında optimizasyon ve simülasyon teknikleri kullanılarak yapılan birçok çalışmaya rastlanmıştır. RFID teknolojisinin ele alındığı çalışmalarda ise, üretim ortamında RFID teknolojisinin hangi şekillerde kullanıldığı incelenmiştir.

Bakım ile ilgili yapılan çalışmalarda üretim sisteminin karakteristik özelliklerine göre geliştirilen birçok bakım politikası bulunup, bu bakım politikaları belirli gruplar içerisinde incelenebilmektedir. Bakımlar veya parça değişimleri belirli zaman aralıklarında yapılabilen ya da çalışma süreleri esas alınarak yapılabilir. Zaman esaslı olan bu bakım türünün literatürde en yoğun olarak çalışılan konu olduğu tespit edilmiştir. Tesisin durumunu inceleyerek gerçekleştirilen bakım türü genel olarak durum esaslı bakım (CBM) olarak tanımlanmakta olup, günümüzde yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak bu alanda olmaktadır. İncelenen durum esaslı bakım makalelerinde tesis durumu incelenerek toplanan verilerin geliştirilen algoritmalar ile bakım politikalarını ve etkinliğini değerlendirmede kullanıldığı görülmüştür.

İncelenen bütün çalışmalarda bakım faaliyetleri düzeltici ve önleyici bakım olarak temelde iki grup halinde incelenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda ya tek üniteli sistemler ele alınmıştır ya da çok üniteli sistemler incelenmiştir.

RFID ile ilgili yapılan çalışmalarda üretim ortamında RFID kullanımını ele alan çalışmalar incelenmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak stok kontrol ve tedarik zinciri yönetiminin ele alındığı tespit edilmiştir. Bunun yanında RFID teknolojisini üretim ortamında ürün takibi amacıyla kullanılmasının performansını inceleyen çalışmalar incelenmiştir. Bu teknolojinin olurluluğunu ölçmek amacıyla matematiksel modelleme ve simülasyon teknikleri kullanılmıştır.

2. BAKIM KAVRAMLARI

Bu bölümde literatürden yararlanılarak çeşitli bakım kavramları açıklanmıştır. Ardından EN 13306:2001 standardına göre bakım türleri açıklanmış ve bakım faaliyetleri tanımlanmıştır.

2.1 Kavramlar

2.1.1 Bakım

Bakım, bir makina veya tesisin işlevlerini yerine getirebilmesi amacı ile onların, en üst fiziksel ve fonksiyonel pozisyonda kalması için yapılan çalışmaların tümüdür (Kirazlılar, 2007).

2.1.2 Güvenilirlik

Güvenilirlik (Reliability), bir parçanın ya da bir sistemin, belirli faaliyet koşulları altında, arzu edilen bir işlemi, belirli bir zaman dilimi içerisinde yerine getirme olasılığı olarak tanımlanır. Bu zaman içerisinde hiç hata verilmemesi ihtimalidir (Ebeling, 1997).

Güvenilirliği operasyonel manada tanımlamak gerekirse, tanımın özgün yapılması gerekir. Birincisi, hatanın açık ve gözlenebilir tanımı belirlenmelidir. Hatalar, system tarafından işleme bağlı olarak tanımlanmalıdır. İkincisi, zamanın birimi tanımlanmalıdır. Örneğin belirtilen zaman aralığı takvim ya da saat zamanına bağlı olabilir ya da işlem süresi ya da çevrim zamanına bağlı olabilir. Bir çevrim, örneğin; bir uçağın inişi, bir yükleme indirme işlemi veya elektrik motorunun devreye alınması olabilir. Bazı durumlarda güvenilirlik zamana bağlı olarak tanımlanamaz fakat seyahat edilen mil gibi başka bir ölçüm ile tanımlanabilir. Üretim sistemleri için hatalar, üretilen üniteler ya da partiler cinsinden belirlenebilir. Üçüncüsü, sistem

normal performansı altında gözlenmelidir. Bu gözlem, tasarım yükü (ağırlık, voltaj, basınç), mekân (sıcaklık, nem, titreşim, kot) ve faaliyet şartları (kullanım, depolama, bakım, nakliye) gibi ögeleri içermelidir (Ebeling, 1997).

Güvenilirlik bir sistemin veya bileşenin belli şartlar altında en az t süresi boyunca işlevini yerine getirme olasılığıdır.

Diğer deyişle, bir bileşen/sistemin arızaları arası geçen sürenin t 'den büyük olma olasılığıdır.

Güvenilirliği $R(t)$ ile ve kümülatif dağılım fonksiyonunu $F(t)$ gösterelim;

$$R(t) = \Pr\{T \geq t\} \quad (2.1)$$

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr\{T < t\} \quad (2.2)$$

Olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(t)$ arıza dağılımının şeklini göstermektedir. OYF, $f(t)$, iki özelliği vardır:

$$f(t) \geq 0 \text{ ve } \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (2.3)$$

Belirtilen OYF, $f(t)$, ye göre:

$$F(t) = \int_0^t f(t')dt' \quad (2.4)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t')dt' \quad (2.5)$$

Güvenilirlik $R(t)$ ve kümülatif dağılım fonksiyonu $F(t)$, olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(t)$ altındaki alanı ifade etmektedir. Bu eğri altındaki alan 1'e eşit olduğundan dolayı güvenilirlik ve kümülatif dağılım fonksiyonunu aşağıdaki gibi belirtmek mümkündür:

$$0 \leq R(t) \leq 1 \quad 0 \leq F(t) \leq 1$$

2.1.3 Ortalama arızalar arası süre (MTTF: Mean time to failure)

Arızalar arası sürenin beklenen değerini ifade etmektedir.

t , sürekli varsayılıyorsa;

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.6)$$

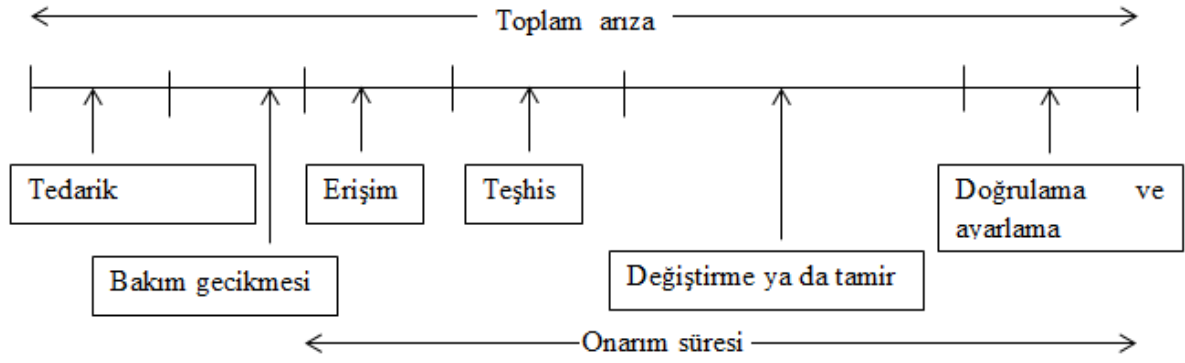
t , kesikli varsayılıyorsa;

$$MTTF = E(T) = \sum_{t=0}^{\infty} t \cdot f(t) \quad (2.7)$$

2.1.4 Bakım kolaylığı (Maintainability)

Bakım kolaylığı (Maintainability), bakım faaliyetleri kurallarla belirlenmiş prosedürlere uygun şekilde gerçekleştirildiğinde, arızalanmış parça ya da sistemin, belirli bir zaman dilimi içerisinde, belirli şartlarda yenilenmesi ya da tamir edilmesi olasılığı olarak tanımlanır. Bakım kolaylığı verilen zaman içerisinde onarma olasılığıdır. Genellikle, bakım kolaylığı hesaplandığında, zaman saat zamanı (örneğin görev süresi ya da vardiya süresi) olarak tanımlanabilmektedir. Bakım kolaylığı, bakım personeli ve parçaları bekleme zamanını, seyahat süresini, yönetimle ilgili bekleme zamanı gibi ölçüleri içerebilir ya da içermeyebilir. Ancak bakım kolaylığı sıklıkla, sadece arızalanmış ürünün üzerinde geçen onarım zamanı ve herhangi bir yönetsel ya da kaynak gecikme zamanını içermeyecek şekilde, sadece esas tamir süresi olarak ifade edilmektedir. (Ebeling, 1997)

Belirlenmiş bakım prosedürleri sadece tamir işlemi gerçekleştirildiğindeki usulleri değil, aynı zamanda bakım kaynaklarının erişilebilirliğini (insanlar, yedek parçalar, takımlar ve kullanım kılavuzları), önleyici bakım programını, personelin beceri düzeyini ve bakıma atanan ekibin kaç kişi olduğunu içerir.



Şekil 2.1 : Toplam arıza döngüsü.

Sürdürülebilirliğin ölçülebilmesi için öncelikle tamir süresi dağılımının tanımlanması gerekir.

Tamir süresini ölçmek için: T arızalanan birim için zamanı gösteren sürekli rassal değişken ve $h(t)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak alınırsa, kümülatif dağılım fonksiyonu:

$$\Pr\{T \leq t\} = H(t) = \int_0^t h(t')dt' \quad (2.8)$$

Yukarıdaki denklem t süresi içerisinde tamamlanan arıza olasılığını göstermektedir.

Ortalama tamir süresi:

$$MTTR = \int_0^{\infty} th(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt \quad (2.9)$$

Tamir dağılımının varyansı

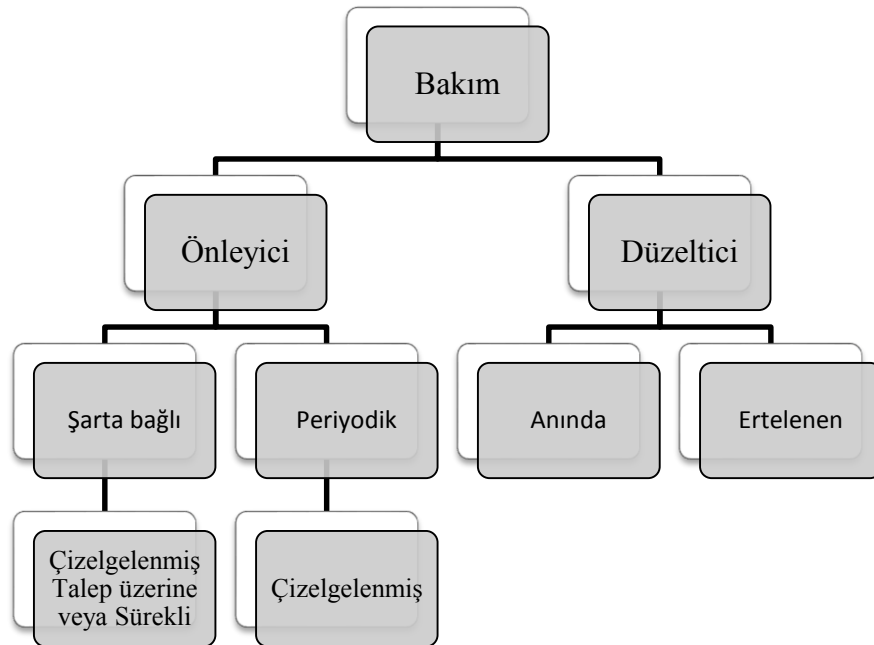
$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - MTTR)^2 h(t)dt \quad (2.10)$$

Sürdürülebilirliğin ölçülebilmesi için bir takım ölçütlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ölçütler başlıca aşağıda belirtildiği gibidir:

- Ortalama tamir süresi
- Tamir süresinin medyanı
- Belirli olasılıklarda maksimum tamir süresi
- Ortalama sistem arıza süresi
- Ortalama düzeltme zamanı
- Çalışma zamanının bakım zamanına oranı

2.2 Bakım Türleri

Bakım terminolojisinde bakım yöntemleri temel olarak düzeltici ve önleyici bakım olarak ikiye ayrılmaktadır (Duffua, Ben-Daya, Al-Sultan ve Andijani, 2001).



Şekil 2.2 : EN 13306:2001 standardına göre bakım türleri (EN 13306:2001).

2.2.1 Önleyici bakım

Önceden belirlenmiş ölçütlere göre ekipman arızası beklenmeksizin gerçekleştirilen bakım faaliyetleri önleyici bakım olarak tanımlanmaktadır (Gerstbakh, 1977; Lofsten, 1999). Buradaki temel amaç ekipman fonksiyonlarını kaybolmasına engel olmak ya da arıza olasılığını düşürmektir. Önleyici bakım “önceden belirlenmiş” ve “şarta bağlı” olarak ikiye ayrılmaktadır.

Periyodik bakım: Önceden belirlenmiş zaman aralıklarına göre ya da kullanımda olan birimlerin sayısına göre gerçekleştirilen önleyici bakımdır. Ancak önceden parça durumu takibi yapılmamaktadır.

Şarta bağlı önleyici bakım: Belirli performans kriterlerine ya da izlenen parametrelere bağlı olarak gerçekleştirilen; çizelgelenmiş, talep üzerine veya sürekli olarak gerçekleştirilen önleyici bakımdır. Şarta bağlı önleyici bakım içerisinde kestirimci bakım tanımlanmaktadır.

Kestirimci bakım: Toplanan verilerin değerlendirilmesi ve analizine dayanarak yapılan tahminlere göre gerçekleştirilen şarta bağlı önleyici bakım faaliyetleridir.

2.2.2 Düzeltici bakım

Düzeltici bakım bir ekipman arızalandıktan sonra onu eski fonksiyonuna getirmek için yapılan değişim ya da onarım faaliyetleridir (Blanchard, Verm ve Peterson, 1995). Düzeltici bakım arıza tanımlandıktan sonra gerçekleştirilmektedir. Bundaki amaç ilgili ekipmanın istenilen fonksiyonları tekrar yerine getirebilir hale gelmesini sağlamaktır. Anında ve ertelenmiş düzeltici bakım olarak ikiye ayrılmaktadır:

Anında düzeltici bakım: Kabul edilemeyecek neticelere katlanmamak için arıza teşhisi konulduktan hemen sonra gerçekleştirilen bakım faaliyetleridir.

Ertelenmiş önleyici bakım: Arıza teşhisi konulduktan sonra verilen bakım kurallarına göre belirli bir süre ertelenen bakım faaliyetleridir.

2.3 Bakım Faaliyetleri

Bakım türleri aşağıdaki gibi açıklamaları yapılmış bakım faaliyetlerini içermektedir:

Muayene: Parçanın uygunluğunun ölçme, gözlemlene, test etme, kalibrasyon gibi ölçütler ile belirlenmesi.

Gözlemlene: Ekipmanın fiili durumunu otomatik veya manuel olarak gözlemlene için gerçekleştirilen faaliyetlerdir. Gözlemlenenin muayeneden farkı parametrelerdeki herhangi bir değişikliği zamana göre değerlendirmesidir.

Gözlemlene sürekli, belirli zaman aralıklarında veya belirli operasyonlardan sonra olabilir. Gözlemlene genellikle çalışır durumda yapılmaktadır.

Rutin bakım: Genellikle özel bir yetki, alet ya da uzmanlık gerektirmeyen düzenli olarak yapılan bakım faaliyetleridir. Örnek vermek gerekirse; temizleme, bağlantı noktalarını sıkma, sıvı seviyesini kontrol etme, yağlama.

Revizyon: Bir tesis veya donanımın periyodik olarak ve kapsamlı bir şekilde muayenesini, bakımını ve onarımını içeren çalışmalardır. Revizyon sırasında makine/tesis, önemli bir süre (1 hafta, 1 ay gibi) bakıma tabi tutulur.

Yeniden yapma: Ekipmanların bileşenlerine sökülerek gerekli parçaların değiştirilmesi ya da tamir edilmesi işlemidir. Yeniden yapmanın revizyondan farkı aşağıda açıklandığı gibi iyileştirme ve modifikasyon içermesidir.

- *İyileştirme:* Ekipmanın gerekli fonksiyonlarını değiştirmeden güvenilirliğini iyileştirmek için yapılan tüm teknik ve yönetsel faaliyetlerdir.
- *Modifikasyon:* Ekipmanın gerekli fonksiyonlarını değiştirmek için yapılan tüm teknik ve yönetsel faaliyetlerdir.

Tamir: Hata veren ekipmanın istenen fonksiyonlarını tekrar gerçekleştirmesi için yapılan fiziksel faaliyetlerdir.

- *Hata teşhisi:* Hatanın tanımlanması ve sebebinin ortaya konması için gerçekleştirilen faaliyetlerdir.
- *Hatanın düzeltilmesi:* Ekipmanın istenen fonksiyonlarını tekrar yapabilir hale gelmesi için hata teşhisinden sonra gerçekleştirilen faaliyetlerdir.
- *Fonksiyon kontrolü:* Bakım faaliyetleri gerçekleştirildikten sonra ekipmanın uygun şekilde çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için gerçekleştirilen faaliyetlerdir.

3. BAKIM YÖNETİMİ YAKLAŞIMLARI

Bu bölümde bakım politikası modellemesinde kullanılan çeşitli yaklaşımlar ele alınmıştır. Literatürde birçok farklı yaklaşım bulunması sebebiyle, bakım modellemesinde kullanılan belli başlı bakım modelleri anlatılmıştır.

3.1 Toplam Değişim Bakım Politikası Modeli

Klasik “Toplam Değişim Bakım Politikaları”nda ekipmanların daima tamamen değiştiği ve değişimin hemen yapıldığı kabul edilmektedir. Yani ekipman değişimi zaman tüketmemektedir ve ekipman arızası arıza meydana gelir gelmez belirlenebilmektedir. İki çeşit değişim seçeneği vardır:

- *Önleyici değişim (PR)*: Önceden belirlenmiş önleyici bakım politikasını takiben yapılır.
- *Düzeltilici değişim (CR)*: Ekipman arızasını takiben yapılır.

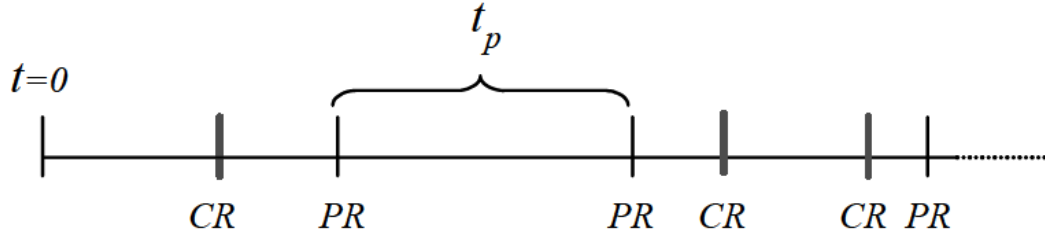
Temel “Toplam Değişim Bakım Politikaları” aşağıdaki önleyici değişim politikalarını dikkate alır:

- *Sabit Zaman Aralığında Değişim (CIR)*: Parça değişimi sabit bir zaman aralığından sonra gerçekleştirilir.
- *Yaşa Bağlı Değişim (ABR)*: Parça değişimi ekipman belirli bir çalışma zamanını aşınca ya da yaşa gelince gerçekleştirilir.

3.1.1 Sabit zaman aralığında değişim politikası (CIR: Constant interval replacement)

Değişim, arıza gerçekleşikten sonra (CR) veya sabit zaman aralığında t_p (PR) yapılır. Model iki parça değişimi arasındaki en iyi zaman aralığını bulmayı amaçlar.

Optimizasyon kistası birim parça-zaman başına toplam beklenen maliyeti en küçüklemeektir.



Şekil 3.1 : Sabit zaman aralığında değişim politikası.

Kullanılan notasyonlar:

C_p : PR birim maliyeti

C_c : CR birim maliyeti

t_p : PR zamanı

$F(t)$: Arızaya kadar geçen zaman olasılık dağılım fonksiyonu

$f(t)$: Arızaya kadar geçen zaman olasılık yoğunluk fonksiyonu

$N(t_p)$: Belirli zaman aralığında öngörülen arıza sayısı (0, t_p)

$TEC(t_p)$: Birim parça-zaman başına toplam beklenen maliyet

Arıza oluştuğunda, (0, t_p) zaman aralığında meydana gelecek ve t_p aralığı için birim parça-zaman başına toplam beklenen maliyet (TEC) formül (3.2) ile hesaplanır:

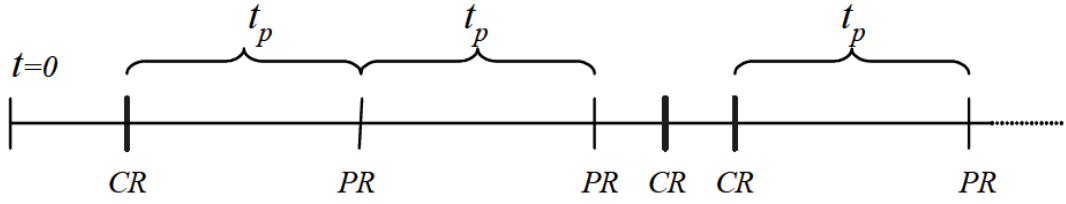
$$TEC(t_p) = \frac{TEC(0, t_p)}{Length(0, t_p)} = \frac{C_p + C_c N(t_p)}{t_p} \quad (3.2)$$

Bu bakım politikası uygulandığında ve kayda değer miktarda arıza gerçekleştiğinde ekipmanların çalışma süresi içerisinde birçok önleyici ikame yapmak gerekecektir. Bu da bu bakım politikasını daha az verimli hale getirebilir.

3.1.2 Yaşa bağlı değişim politikası (ABR: Age based replacement)

Bu durumda önleyici değişim, ekipman belirli bir çalışma süresine - yaşa eriştiğinde gerçekleştirilir. Bir düzeltici değişim yapılmasının ardından bir sonraki önleyici

ikame t_p birim zaman sonra gerçekleştirilir. Amaç yine en iyi t_p için $TEC(t_p)$ 'yi en küçükmektir.



Şekil 3.2 : Yaşa bağlı değişim politikası.

t_p : Ekipmanın önleyici değişime(PR) ulaşma zamanı

$R(t_p)$: Önleyici değişim olma olasılığı

$F(t_p)$: Önleyici değişim zamanından önce arıza olasılığı

$(0, t_p)$ aralığında beklenen maliyet $C_p R(t_p) + C_c F(t_p)$ 'ye eşittir ve arıza çevrim zamanının beklenen uzunluğu t_p defa önleyici çevrim $R(t_p)$ artı arıza çevrim zamanının beklenen uzunluğu defa arıza olasılığı $F(t_p)$ 'ye eşittir.

Arıza çevriminin uzunluğu aşağıda belirtildiği şekilde hata dağılımının beklenen değerinin hesaplanması ile bulunur(3.2):

$$M(t_p) = \int_{-\infty}^{t_p} \frac{tf(t)dt}{F(t_p)} \quad (3.2)$$

$$TEC(t_p) = \frac{C_p R(t_p) + C_c F(t_p)}{t_p R(t_p) + M(t_p) F(t_p)} \quad (3.3)$$

3.2 Kısmi Değişim Bakım Politikası Modeli (PPR: Patial preventive replacement)

Bu modeller bölüm 3.1'de bahsedilen toplam ikame modelinin uzantılarıdır. Bu modellerin formülasyonları ekipmanların alt sistem seviyelerinde (ör: makine

parçaları) olası kısmi değişim (possible partial replacement) fikrinden yola çıkılarak oluşturulmuştur.

Bu modellerde; ekipmanların başlangıç arıza seviyelerine çekilebilmeleri amacıyla, belirli operasyon zamanında T_i , komponentlerin alt sistem seviyelerinde kısmi önleyici değişimler (Partial Preventive Replacement) yapılabilir. Ancak belirtmek gerekir ki belirli bir PPR sayısına erişildikten sonra, bütün önleyici ekipman ikamesi (Complete Preventive Replacement) yapılması daha fizibil olacaktır.

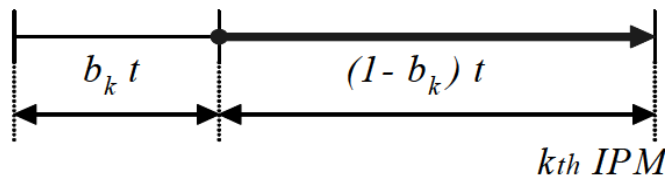
Temel PPR modelleri düzeltici bakımı dikkate alarak iki seçenek sunmaktadır:

1. En az onarım, pahalı olmayan fakat arıza oranı iyileştirmesi yapamayan
2. Normal onarım, daha pahalı fakat arıza oranı iyileştirmesi yapabilen

3.3 Yaşlanmayı Dikkate Alan Bakım Politikaları Modelleri

3.1 ve 3.2 bölümlerinde parçalara bakım yapıldıktan sonra, parçaların yeni hallerindeki kadar sorunsuz olduğu varsayımı yapılmaktadır. Bu bakım politikasında önleyici bakım faaliyetleri gerçekleştirildikten sonra parçanın durumu biraz daha kötü varsayılmaktadır. Literatürde “Kusurlu Önleyici Bakım” (Imperfect Preventive Maintenance) olarak geçmektedir ve kurulan model IPM model olarak isimlendirilmektedir.

Ben-Daya ve diğ. (2000) tarafından öne sürülen bu modelde bakım faaliyetleri sabit zaman aralıklarında h_k ($k=1,2,...,N-1$) gerçekleştirilir ve ekipman değişimi $N-1$ bakım faaliyetinden sonra yapılır. Bakım faaliyetleri arasında meydana gelen arıza durumlarında en düşük seviye bakım uygulanır. Ekipmana k 'nıncı bakım t zamanında uygulandığında ekipman ömrü $b_k t$ kadar değiştirilir.



Şekil 3.3 : Ekipman yaşına kusurlu önleyici bakımın etkisi.

IPM modelinde aşağıdaki varsayımlar yapılmaktadır:

1. IPM $h_1, h_1+h_2, \dots$, zamanlarında yapılır. Burada h_i 'ler i 'ninci zaman aralığının ($i=1,2,\dots,N-1$) uzunluğu olup önleyici değişimler N zaman aralığından sonra gerçekleştirilmektedir.
2. İki IPM arasında meydana gelen arıza en düşük seviyede bakım ile giderilir. Ekipman ömrü k adet bakımdan sonra $b_k t$ kadar düşürülür. $0=b_1 < b_2 < \dots < b_{N-1} < 1$
3. Ekipman önleyici değişim yapıldıktan sonra tamamıyla yeni kabul edilir.
4. $\lambda(t)$ sürekli ve zamana bağlı artandır.
5. IPM yapılırken en düşük seviye bakım veya önleyici değişim yapılmaz.
6. N zaman aralığından sonra çevrim önleyici değişim ile biter.

Modelde amaç en küçük maliyet ile IPM sayısını ve zaman aralıklarının uzunluğunu (h_k) bulmaktır. Aşağıdaki notasyonlar kullanılır:

y_i : i 'ninci IPM uygulandığında ekipman yaşı

C_{ipm} : Birim IPM maliyeti

C_p : Önleyici değişim maliyeti

C_{rm} : Birim en düşük seviye bakım maliyeti

k 'ninci IPM uygulandığında ekipman yaşı

$$y_k = h_k + b_{k-1} y_{k-1} \quad (3.4)$$

Bu nedenle k 'ninci zaman aralığında ekipman yaşı $[b_{k-1} y_{k-1}, y_k]$ arasındadır.

Her bir çevrim için toplam beklenen maliyet

$$TC(y_1, \dots, y_n) = C_{rm} \sum_{k=1}^N \int_{b_{k-1} y_{k-1}}^{y_k} \lambda(t) dt + (N-1)C_{ipm} + C_p \quad (3.5)$$

Çevrimin beklenen uzunluğu

$$LE(T) = \sum_{k=1}^{N-1} h_k \quad (3.6)$$

Her bir zaman birimi için toplam beklenen maliyet

$$\begin{aligned} TEC(y_1, \dots, y_n) &= \frac{TC(y_1, \dots, y_n)}{LE(T)} \\ &= \frac{C_{rm} \sum_{k=1}^N \int_{b_{k-1}^{y_{k-1}}}^{y_k} \lambda(t) dt + (N-1)C_{ipm} + C_p}{\sum_{k=1}^{N-1} h_k} \end{aligned} \quad (3.7)$$

3.4 En İyi Bakım Politikasını Bulmak İçin Kriterler

Bakım sistemin kullanılabilirliğini ve arızalar arası süreyi en iyilemeyi amaçlar. Bunun yanında bakım bir maliyet faktörü olduğu için bakım maliyetlerini aşağı çekmek de önemli bir etmendir. Genellikle en iyi sistem bakım politikası aşağıdakilerden birisidir Wang (2002):

- Bakım maliyetlerini en aza indirmek
- Sistemin güvenilirliğini en iyilemek
- Sistem güvenilirliği tatmin edici bir noktada iken bakım maliyetlerini en küçükmek
- Bakım maliyetleri tatmin edici bir noktada iken güvenilirliği en iyilemek

En iyi bakım politikasını bulmak için birçok kriter bulunmaktadır. Wang bu kriterleri aşağıdaki şekilde kategorize etmiştir:

- Bakım politikaları: Yaşa bağlı, blok değişimi, arıza limiti, hata oranı limiti, ardışık, arıza sayımlı vb.
- Sistem konfigürasyonu: Tek birimli, seri, paralel, atıl
- Çalışmama kuralları: Kural 1, kural 2, kural 3

- Bakım düzeyi: Kusurlu, minimal, kusursuz, kötü
- Bakım maliyeti: Sabit, rassal, karmaşık
- Optimizasyon kriteri: Maliyeti en küçükleyen, kullanılabilirliği en iyileyen, hata oranı limitli, durma zamanını en küçükleyen, maliyet ve güvenilirlik
- Modelleme araçları: Yenileme teorisi, Markov zinciri, olasılık, Poisson süreci
- Planlama dönemi: Sonsuz, sonlu, kesikli, sürekli
- Bağlılık: Ekonomik, arıza, yapısal
- Sistem bilgisi: Eksik, tam

4. BAKIM YÖNETİMİ TEKNOLOJİLERİ VE YAZILIMLARI

Bakım yıllar boyunca sıkıcı ve kirli bir iş olarak algılanmıştır. Ancak bakım bir tesis için üretkenliği ve verimliliği sağlayan, dolayısıyla işletmenin kar edebilmesi için kilit unsurdur. Yapılan bakım çalışmalarının sisteme ne kadar fayda sağlayacağı belli değildir ancak bakım çalışmalarındaki temel amaç sistemi mümkün olduğunca güvenilir bir hale getirmek ve arıza ihtimalini olabildiğince en düşük seviyeye çekmektir. Günümüzde üretim tesislerindeki birçok makine sensör desteklidir. Makinede arıza meydana geldiğinde sistem uyarı vermekte ve arızanın yerini gösterebilmektedir. Lakin bu uyarı alındığında iş işten geçmiştir, sistem zaten arızalanmıştır. Öte yandan proaktif olarak bakım faaliyeti düzenleyen sistemler bulunmaktadır. Bu sistemlerde ise genellikle belirli bir performans seviyesinin altına inildiğinde ve hiçbir veri girişi olmadan bakım yapılmaya çalışılmaktadır. Her iki durumda da güvenilirliği yüksek bir sistem elde etmek mümkün değildir. Bu sorunları aşabilmek için üretim hattından verilerin sürekli toplanması ve tesis için optimum hale getirilmiş yazılım algoritmaları oluşturulmalıdır. Bu sayede gerçekçi göstergeler ile verimli bir bakım yönetimi sağlamak mümkün olacaktır.

4.1 Bakım Yönetimi, Planlama ve Çizelgeleme

Birçok endüstriyel organizasyon bakım operasyonlarıyla ilgilenen bakım departmanlarına sahiptir. Bu departmanlar, süreç tasarımı, envanter yönetimi, çizelgeleme ve istihdamdan sorumlu olmaktadır. Ancak bakımın asıl amacı ekipmanları bakım açısından kabul edilebilir standartlarda tutmaktır. Bu amaç doğrultusunda; izleme, onarım, planlı bakım ve değiştirme gibi çeşitli bakım işlemleri yapılmaktadır. Bakım fonksiyonunun başarısı ve işlevini yeterli bir şekilde yerine getirebilmesi açısından bakım faaliyetlerinin içeriği ve zamanlaması büyük önem arz etmektedir. (Kobbacy, 1992)

İngiltere’de 34 işletme arasında Kobbacy ve diğerleri tarafından bir araştırma gerçekleştirilmiştir (Kobbacy ve diğ. 2005). Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki

bakım departmanlarının gerçekleştirdiği faaliyetlerden yarısı onarım, çeyreği önleyici bakım ve %5'lik kısmı incelemeye aittir. Geriye kalan kısım ise fırsatçı bakıma, durum izlemeye ve diğer bakım yöntemlerine ayrılmaktadır. Onarım, bakım faaliyetleri arasında en büyük orana sahip kısım olarak öne çıkmaktadır.

Onarım, ekipmanı çalışma durumuna getiren bakım faaliyetidir. Bazı onarım faaliyetleri ekipmanı yenileme işlemidir, bazıları ise asgari bakım denilen yani ekipmanı arızadan önceki durumuna getiren işlemdir. Gerçek hayatta onarım bu iki işlemten biri olarak gerçekleştirilmektedir.

Önleyici bakım, ekipmanlar arızalandığında onları onarmayı öngören yaklaşım ile kıyaslandığında, arızaların ortaya çıkma olasılığını azalttığı düşünülen bakım faaliyetleridir (Kobbacy ve diğ. 1995). Önleyici bakım, matematiksel modelleme açısından muhtemelen bakım faaliyetlerinin en zorudur.

İzleme ekipmanın durumunu belirli bir zamanda takip etme işlemidir. İzlemeyi ekipmandaki ses gibi sıra dışı performans değişimleri başlatabilir ya da izleme önceden belirlenmiş zamanlarda gerçekleştirilebilir. İzlemeyi, önleyici bakımdan ayıran temel fark, önleyici bakımın rutin olarak belirlenmiş; parça değişimi, ayar yapımı gibi işlemleri kapsamaması, izlemenin ise ekipmanın durumunu kontrol ederek elde edilen sonuçlara göre bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilip gerçekleştirilmemesi öngörmesidir. Diğer bir deyişle izleme programı, önleyici bakımın aksine, önceden planlanmış ekipman durumunun yenilenmesini içermemektedir.

Arıza teşhisi, bakım faaliyetlerinin ayrılmaz bir parçası olup arıza gerçekleşikten sonra gerçekleştirilen işlemdir. Arıza teşhisinin; arızayı, önleyici bakımı, durum takibini veya izlemeyi takip eden arızalardan önce yapılması gerekmektedir.

Bakım planlamasında/yönetiminde iki yaklaşım vardır: Mühendislik yaklaşımı ve Matematiksel yaklaşım (Gits, 1984). Mühendislik yaklaşımı bakım problemine daha geniş bir bakış açısına sahiptir. Bakım kavramını operasyon planlaması, bakım kısıtları ve parça davranışları açısından ele alır. Böylece bakım faaliyetleri için bir kılavuz ya da kurallar geliştirmeyi öngörür. Matematiksel yaklaşım ise optimum bakım politikalarını geliştirmek üzerine odaklanır. Bu alandaki temel zorluk bu yaklaşımların nasıl entegre edileceğidir. Yıllar boyunca bakım faaliyetlerini analiz

etmek ve modellemek amacıyla birçok yazılım paketleri geliştirilmiştir. Ancak bu programların özellikle büyük sistemler için uygulanabilirliği neredeyse imkânsızdır.

Bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesi bakım planlamasının bir diğer kısmıdır. Arızalar üzerine yapılan bakımlar gibi her bakım faaliyetlerinin çizelgelenmesine gerek yoktur. Oportünist bakım, tanımı itibarıyla ekipmanlar kullanımda olmadığı zamanda gerçekleştirilmektedir fakat yedek parçaların planlanması gerekebilmektedir. Durum takibi kesintisiz devam eden bir süreç olabilir fakat genellikle takip aralığı ve bir sonraki değişimler için planlama gerektirmektedir. Çizelgeleme gerektiren diğer iki ana bakım faaliyeti ise önleyici bakım ve planlanmış izlemedir. Genellikle, ilk olarak bir hata modeli oluşturmak gerekmektedir. Yani arızalar arası süre süre hesaplanmalıdır. Onarılabılır sistemlerde homojen olmayan Poisson dağılımı genellikle seçilecek ilk modeldir (Ascher ve Kobbacy, 1995). Rutin önleyici bakımları çizelgeleme konusunda birçok çalışma vardır: yani bir yıl süresince gerçekleştirilen önleyici bakımların sıklığını belirlemek amacıyla.

4.2 Bakımda Yapay Zekâ

Geçen yirmi yıl boyunca bakımda yöneylem araştırması ile önemli araştırmalar yapılmıştır ve büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Kobbacy ve diğerleri (2007) bu alanda yapılan çalışmaların devamlılık göstermesini, önerilen çözümlerin genel sorunlar için ortaya konmamasına işaret ettiğini söylemektedir. Bunun sebebini; önerilen çözümlerin iyi tanımlanmış ve verilerinde bir hata ve eksiklik olmayan sorunlar için ortaya konmasına dayandırmaktadır. Ayrıca önerilen çözümler pratikte uygulanabilmesi için çok karmaşıktır. Birçok araştırmacı tarafından yapay zekâ, özellikle yöneylem araştırması teknikleriyle birleştirildiği zaman, bu tarz problemlerin üstesinden gelmek için büyük bir potansiyele sahiptir. Literatürde yapılan çalışmalar da göstermektedir ki bakımda iş zekâsının uygulanması üzerine yoğun çalışmalar vardır.

4.3 Yapay Zekâ Teknikleri

Yapay zekâ normalde insan zekâsının gerektirdiği fonksiyonları, geliştirilen programlar vasıtasıyla makinaların yapmasına imkân tanıyan, bilgisayar biliminin bir dalıdır (Microsoft ENCARTA College Dictionary, 2001). Yapay zekanın amacı

makinelere belirli koşullar altında düşünmeyi öğretmektir. Bakımda karar destek sistemi olarak kullanılan birçok yapay zekâ yöntemi vardır. Bunlardan en çok kullanılanları aşağıdaki gibidir:

Bilgi tabanlı sistem: Bir eylemin olası potansiyel çıktısını veya uygun akışını belirlemek amacıyla etki alanı özel temel kuralları ya da sezgisel yöntemleri kullanır.

Vaka tabanlı muhakeme: Yeni problemleri çözmek için geçmiş tecrübelerden yararlanır. Vaka endeksli şemaları, benzerlik fonksiyonlarını ve uyarlamaları kullanır. Vaka tabanlı güncellemeler ile makine öğrenmesini sağlar.

Genetik algoritmalar: Bu algoritmalar soruna göre çözümün geliştirilme prensibine dayanmaktadır. Potansiyel olası çözümler gelişir ve zayıf çözümler elimine edilir.

Sinir ağları: İnsan beyninin davranışlarına öykünen geri yayınlı algoritma kullanır. Hem sinir ağları hem de genetik algoritmalar sınıflandırma, kümeleme ve optimize etme kabiliyetine sahiptir.

Bulanık mantık: Bilginin gelişinde belirsizliğe izin verir. Dereceli olarak kategorize edilmiş bir sistem sağlar ve matematiksel bir modelde elde edilen bilginin nicel olarak kullanılmasını sağlar.

Yapay zekâyı kullanan başka birçok yöntem vardır ve bunlar, veri madenciliği, robotik ve akıllı ajanları da içerir. Ancak bakım alanında yapılan yayınlarda bu yöntemlerin uygulaması çok azdır.

5. BAKIM YÖNETİMİNDE SİMÜLASYON

5.1 Simülasyon Nedir?

Simülasyon, genel anlamda zaman içerisinde sistemin işleyişinin taklidi olarak tanımlanabilir. Simülasyon, karmaşık sistemlerin tasarımında ve analizinde kullanılan en güçlü analiz araçlarından birisidir. Simülasyon, çeşitli koşullar altında sistemin tavrının gözlemlenebilmesi için, bu sistemin modellenmesi olarak da tanımlanabilir. Zaman içinde değişiklik gösteren bir sistemin tavrı, geliştirilen bir simülasyon modeli ile incelenir. Bu model, sistemin çalışması ile ilgili kabuller setinden oluşur. Bu kabuller, sistemin ilgilenilen nesneleri (varlıkları) arasındaki; matematiksel, mantıksal ve sembolik ilişkiler ile ifade edilir (Rossetti, 2010).

5.2 Simülasyon Tekniğinin Faydaları

- Sistemin modeli kurulduktan sonra, farklı durumların analizi için istenildiği kadar kullanılabilir.
- Simülasyon yöntemleri, sistem verilerinin detaylı olmadığı durumlarda elverişlidir.
- Simülasyon modeli üzerinde daha sonra yapılacak analiz için veri, çoğu kez gerçek hayatta olduğundan daha ucuz elde edilir.
- Simülasyon bir sistemdeki karmaşık etkileşimleri etüd etme ve bunlar üzerinde deney yapma olanağını sağlar.
- Simüle edilen sistemin ayrıntılı gözlemi (-ki sistemi simüle ederken yapılması gereken işlemlerden biridir.) daha iyi anlaşılmasını, daha önce görülmemiş eksikliklerin giderilebilmesini, daha etkin fiziksel ve operasyonel sistemin kurulmasını sağlayabilir.
- Simülasyon, değişik koşullar altında sistemin nasıl olacağı hakkında çok az veya hiçbir veriye sahip olmadığımız yeni durumlar üzerinde deney yapma amacıyla kullanılabilir.

- Simülasyon analitik çözümlerin doğruluğunu gerçeklemek üzere kullanılabilir.
- Simülasyon ile dinamik sistemlerin gerçek zamanı, daraltılmış veya genişletilmiş süre içinde incelenebilir.
- Simülasyon analistleri daha genel düşünmeye zorlar (Başlıgil, 2011).

5.3 Simülasyon Tekniğinin Dezavantajları

- Bir sistemin bilgisayar simülasyonunu kurmak ve geçerli olduğunu ispatlamanın maliyeti çok yüksektir. Genel olarak her bir sistem için ayrı bir program yazma gereği vardır. Simülasyon dilleri bu mahsurları bir dereceye kadar ortadan kaldırmıştır.
- Kurulan bir simülasyon programının bilgisayarda çalıştırılması çok zaman alabilir.
- Araştırmacılar simülasyon tekniğini öğrendikten sonra onu analitik yöntemlerin daha uygun olduğu durumlarda da kullanma eğilimindedir (Başlıgil, 2011).

6. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE RFID DESTEKLİ BAKIM METODOLOJİSİ

Radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi (RFID), ürünleri nesneleri ve hatta canlı varlıkları tanımlamada ve izlemede yüksek takip edilebilirlik ve görünürlük imkanı sağlayan bir teknolojidir (Üstündağ, 2010). RFID kullanımı birçok farklı uygulama alanı ile hızla gelişmektedir. RFID teknolojisinin en yaygın kullanım alanları olarak; tahsilat işlemleri, tedarik zinciri yönetimi sistemleri, geçiş kontrol sistemleri, üretim takip sistemleri, varlık takip sistemleri ve hatta canlı varlık takip sistemleri gösterilebilir. RFID teknolojisi üretim yapan işletmelerde; ürün yaşam döngüsü yönetiminden (Cao ve diğ., 2009, Jun ve diğ., 2009, Zhou ve Shi, 2009) üretim alanı kontrolüne kadar (Huang ve diğ., 2008, Zhang ve diğ., 2010) birçok seviyede potansiyel fayda sunmaktadır.

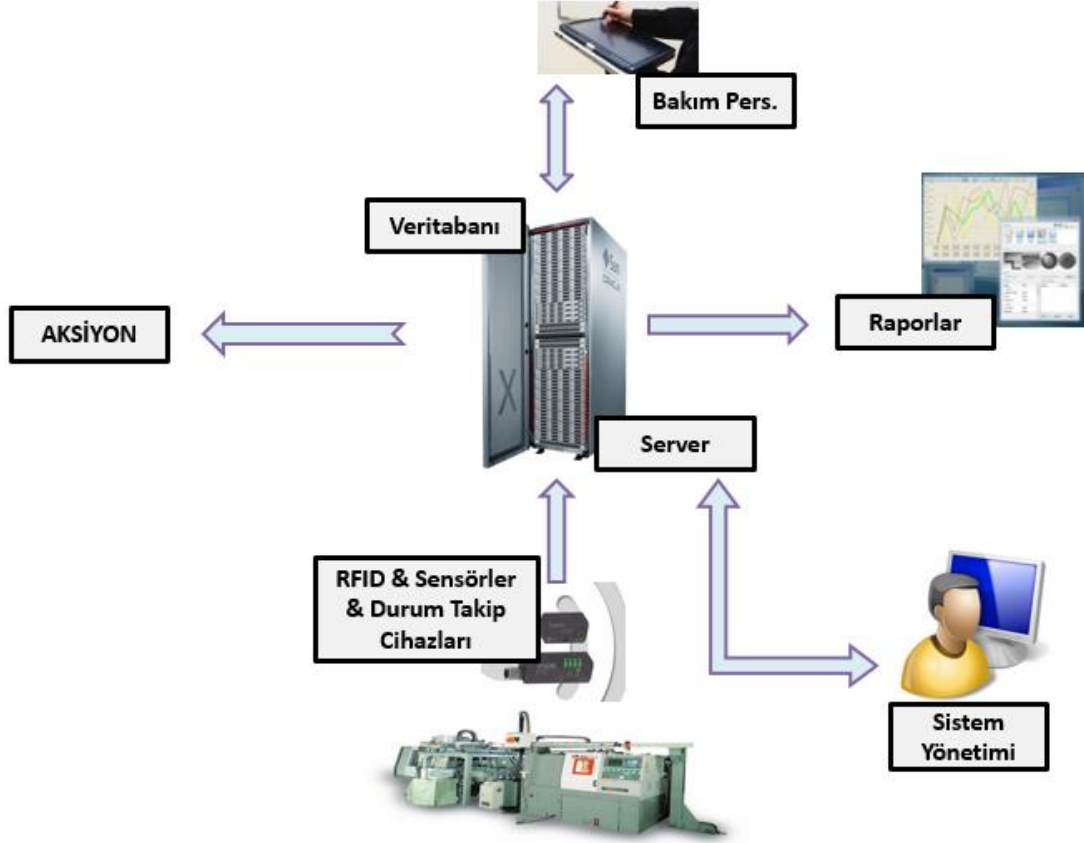
Yapılan bu çalışma ile çeşitli alanlarda uygulamaları bulunan RFID teknolojisinin üretim sistemlerinde bakım yönetimi amacıyla kullanılması önerilmiştir. Önerilen bu sistem üretim hattındaki kritik makinelerin bakım verilerinin otomatik olarak toplanmasını sağlayan ve tanımlanan kurallara göre aksiyon alan bir sistemdir.

Önerilen sistemde kritik makineler üzerine entegre edilecek RFID etiketler ile cihaz kimlik verileri cihazlar üzerinde saklanacaktır. Bunun yanında bakım personelinin elinde gerçekleştirilen bakım faaliyetlerine dair verileri anında girebilmeleri için tablet bilgisayarlar olacaktır. Bu sayede bakım faaliyetlerine dair verilerin ayrıca sisteme girilmesine gerek duyulmayacak ve iş yükünde bir düşüş sağlanacaktır.

Cihazlara ait sıcaklık, titreşim, yağ kalitesi, gürültü, basınç, güç, açısız hız, akım gibi değişkenlerin incelenmesi amacı ile cihazlar üzerine sensörler yerleştirilecektir. Kablosuz veri aktarma özelliğine sahip olan bu sensörler ile uygun noktalara yerleştirilen RFID okuyucular sayesinde veriler anında toplanacaktır.

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi sistemde kullanıcı ve cihazlardan gelen veriler veri tabanında toplanacaktır. Verilerin analiz edilmesi ile tesis için önerilen bakım

politikaları test edilecektir. Test edilen bakım politikalarından olası en iyi sonuçları veren seçilecektir. Alınan aksiyon kararlarına göre bakım çizelgeleri ve çeşitli raporlar oluşturulacak ve makineler ile personel için görev atamaları yapılacaktır.



Şekil 6.1 : Sistemin genel şeması.

6.1 RFID Teknolojisi ve Üretim Sistemine Uygulanması

RFID teknolojisi, varlıkların elektronik olarak etiketlenmesine ve kablosuz tanımlanmasına imkan sağlamaktadır (Saygın ve Natarajan, 2010). Tipik bir RFID sistemi üç bileşenden oluşmaktadır (Saygın ve Tamma, 2012):

- 1) Transponder veya tag (etiket): Elektronik veri taşıma cihazı
- 2) Anten ve okuyucu: Tagden veri sorgulanmasını sağlayan parça
- 3) Arakatman yazılımı: RFID ekipmanını kontrol eden, veriyi yöneten, veriyi diğer veri işleme birimlerine aktaran yazılım.

RFID tagler frekans aralıklarına göre: düşük frekans (LF: Low frequency), yüksek frekans (HF: High frequency) ve çok yüksek frekans (UHF: Ultra high frequency)

olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Her birinin özelliklerine ve uygulamadaki kullanımına göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Çizelge 6.1 : Üç temel RFID sistemi (Sippel, 2010).

Tanım	Frekans	Özellikler
LF – Düşük Frekans	70 – 500 kHz	Kısa ve orta mesafe okuma, en yavaş okuma/yazma hızı, ucuz, sınırlı hafıza kapasitesi, metal alaşımlı esnek
HF – Yüksek Frekans	13,56 MHz	Kısa ve orta mesafe okuma/yazma, yüksek okuma/yazma hızı, ucuz ve pahalı tipler, orta ve yüksek hafıza kapasitesi
UHF – Çok Yüksek Frekans	865 – 960 MHz	Uzun mesafe okuma/yazma, yüksek okuma/yazma hızı, ucuz ve pahalı tipler, düşük hafıza kapasitesi ile sınırlı.

RFID etiketler kullanım alanlarına göre çok farklı tiplerde olabilmektedir. Bu nedenle RFID imalatçıların tag seçimi konusunda oluşturdukları kriter ve tablolara başvurmak uygulama başarısı açısından önemlidir.

Çizelge 6.2 : Uygulama referans tablosu (Sippel, 2010).

	Takım Tezgâhları	Montaj konveyörleri	Kalıp ve döküm	Lojistik, depolama	Varlık yönetimi	Giriş kontrolü	AGV	Sahteciliğe karşı
Düşük Frekans	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Yüksek Frekans	✓	✓	✓	✓			✓	✓
Çok Yüksek Frekans				✓	✓			✓
 = Tam-tamına uyan  = Uygulamaya bağlı İşaret yok ise tavsiye edilmez								

Sistem kurulumu aşamasında sistemden istenen bütün talepleri anlamak ve öğrenmek büyük önem arz etmektedir. Aşağıda RFID sistemlerinin uygulanmasında göz önünde bulundurulması tavsiye edilen bazı etmenler verilmiştir (Sippel, 2010):

1. Proje Etkenleri

İşlevsellik: Salt okunur veya okunabilir/yazılabilir, veri izleme veya izleme veya izlenebilirlik

Takılacak yüzek uyumluluğu: Metal, plastik vs. ve ürün içeriği – sıvı veya katı

Veri kapasitesi: Az ya da çok karakter (genellikle byte olarak)

Beka kabiliyeti: Sıcaklık, çevre (kapalı/açık alan), titreşim, şok

Veri yolu iletişimi: Ethernet, alan veri yolu, seri vs. – ağa bağlanabilirliği

Destek yazılımı gereksinimi: Özel yazılım, veritabanı, PLC (programlanabilir mantık kontrolü) veya kontrol yazılımı, güvenlik vb.

2. Biçim Etkenleri

Elektronik devre yerleştirilebilirliği: Boyutlar, yerleştirilebilir boşluklar

Okuma/yazma başlığı yerleştirilebilirliği: Boyutlar, yerleştirilebilir boşluklar, bağlanabilirlik

3. Sistem Maliyetleri

Elektronik etiket maliyetleri: Kullan-at veya yeniden kullanılabilir – toplam elektronik etiket sayısı

Okuma-yazma donanımı: Okuma-yazma başlığı ve işlemci maliyetleri, yerleştirilen donanım

Yazılım altyapısı: Sunucu ihtiyacı, kontrol programı (PLC, kontrol cihazı vb.), ERP, veritabanı desteği vb.

Mühendislik/Tasarım: Yapım alanının incelenmesi (iç-dış hizmetler)

Bakım hizmeti: Elektronik etiket yenilenmesi, yazılım güncellemeleri, modifikasyon (uzun vadeli)

6.2 Veri Toplama Amaçlı Sensör ve Durum Takip Cihazı Entegrasyonu

Önerilen RFID destekli bakım yönetimi sisteminin makinelerden veri toplama kısmını gerçekleştirmesi için makinelerin kritik parçalarının üzerine RFID ile bütünleşik sensörler yerleştirilecektir. Ayrıca tesis içerisinde bulunan fan, pompa, kompresör, konveyör gibi elektrik motorları ile çalışan ekipmanların durumlarını izlemek amacıyla ekipmanı çalıştıran elektrik motorlarının akım ve gerilim bilgilerini ölçen cihazlar kullanılacaktır.

Makine performansını incelemek amacı ile yerleştirilecek olan sensörler ile sürekli ya da periyodik ölçümler yapılabilecektir. Makine çalışma koşullarında hızlı değişimlerin olabildiği veya ölçme yapılacak noktaya güvenli ve kolay ulaşma durumu olmadığı durumlarda sürekli ölçüm yapılması önerilmektedir. Çalışma koşullarında ani değişimlerin olmadığı, çok sayıda ve kritik olmayan makinelerden ölçüm yapılacağı zaman ise periyodik ölçümlerin yapılması önerilmektedir.



Şekil 6.2 : RFID sıcaklık sensörü (kaynak: [http:// www.rfidsensorsystems.com/products/ST050-1.pdf](http://www.rfidsensorsystems.com/products/ST050-1.pdf)).

Cihazlar üzerine yerleştirilecek sensör donanımının yanında elektrik motorları ile çalışan aksamaların kontrolünü gerçekleştirmek amacıyla tesiste bulunan elektrik motorları üzerine akım ve gerilim bilgilerini ölçen durum takip cihazları takılarak ekipmanların durumu motor verileri üzerinden takip edilecektir. Bu sayede motorlarda gerçekleşebilecek verimsiz çalışma durumları tespit edilebilecektir.

Tesiste bulunan makineler ve alt bileşenlerine ait bakım değişkenlerine ait limitler hesaplanırken her ölçüm değeri için geçerli uyarı, alarm ve arıza düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu limitlerin hesaplanmasında üç etmen dikkate alınabilir:

- 1) Üretici firma tarafından verilen spektler
- 2) Makineyi kullanan operatörlerin deneyimleri
- 3) Geçmiş değerlerden yapılan istatistiksel çalışmalar

Yapılan ölçümler neticesinde, izlenen parametrelerin sınır değerlere yaklaşma ve aşma durumları göz önünde bulundurularak sistem aksiyon alacaktır.

6.3 Sistem Yazılımı

Hata tanı ölçütlerini içeren ve sistemin aksiyon almasını sağlayan kısmı ise yazılım oluşturmaktadır. Yazılım kısmı; sensörlerden verilerin sisteme aktarılmasını sağlayacak agent yazılım, algoritmanın işleyeceği çekirdek yazılımı ve saha personelinin anında veri girişi yapacağı tablet yazılımı olarak üçe ayrılmaktadır.

Sistem yazılımı sensör ve diğer donanımları kullanarak verileri eksiksiz ve doğru olarak kaydedecektir. Bunun yanında RFID destekli bakım yönetim sisteminin tesislerde kullanılan ERP yazılımlarıyla da entegre bir şekilde çalışması gerekmektedir. Geliştirilen senaryolar ile önleyici ve kestirimci bakım algoritmaları sayesinde bakım planları ve çizelgeleri oluşturulacaktır.

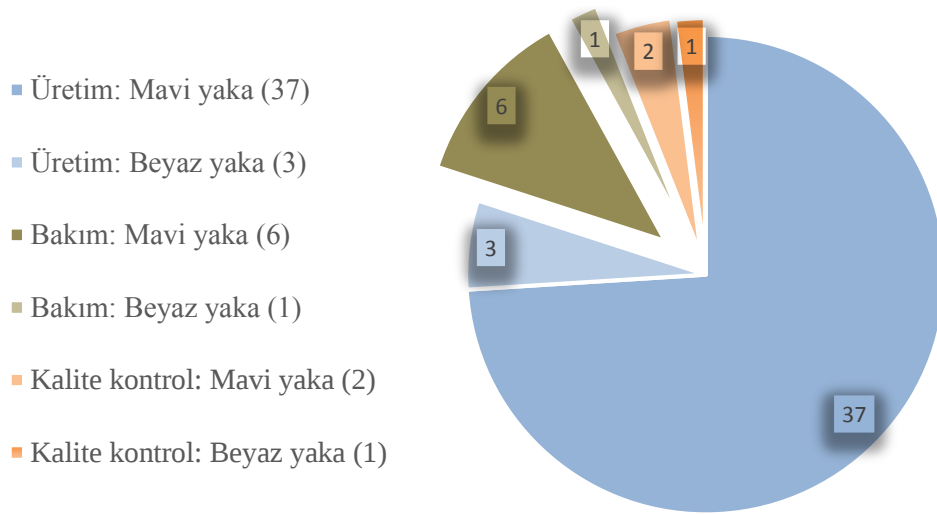
7. UYGULAMA

Çalışmada ele alınan tesis bir döküm fabrikasıdır. Firma yurtdışı sermayeli olup, bugün Dünyada 20’yi aşkın ülkede 7.000 civarında çalışanı ve yıllık yaklaşık 500 milyon Avro ciroya sahiptir. Tüm dünyada ev aletleri üreticilerinin elektrik enerjisini ısıya dönüştüren ve kontrol eden komponentlerdeki lider tedarikçisidir.

Grup şirketleri olarak Türkiye fabrikası 1989 yılında faaliyete geçmiş olup, arazisi içerisinde tüp rezistans, seran ocak ısıtıcısı ve döküm fabrikası bulunmaktadır. Üretimini %50’sini ihraç eden işletme, 1989 yılından beri Türkiye beyaz eşya sektörünün önde gelen firmalarının kendi alanındaki en büyük ürün sağlayıcısıdır.

7.1 Mevcut Sistemin Performans Ölçütleri

Döküm fabrikası 1997 yılında elektik ocaklarının döküm kısımlarını üretmek için kurulmuş olup, üretim kapasitesi yıllık 10.000 tondur. Döküm hattında 0,4 kg – 50 kg aralığında döküm parçalar üretilmektedir. Tesiste toplam 50 personel çalışmaktadır. Personel dağılımı ise şu şekildedir:



Şekil 7.1 : Personel dağılım grafiği.

Bir işletme için bakım stratejisi geliştirmek ve uygulamak üç adımdan oluşmaktadır (Moubray 1991):

- Her bir bileşen için ne yapılması gerektiği belirlenmelidir.
- Önerilen prosedürü etkin uygulayabilecek kaynaklar (kalifiye personel, yedek parçalar, aletler) belirlenmelidir.
- Strateji uygulanmalıdır (kaynakları verimli bir şekilde yönetebilecek kaynakları edinmek ve plana göre dağıtmak).

Döküm fabrikasında uygulanmakta olan bakım stratejisinin verimliliğini ve fabrikanın genel verimliliğini ortaya koymak adına “Toplam Ekipman Verimliliği” ölçme çalışması yapılmıştır.

Toplam ekipman verimliliği (OEE:Overall Equipment Effectiveness) işletmeler için sıklıkla kullanılan bakım göstergelerinden birisidir. OEE üretim süreçlerinin etkinliğini gözlemleyen ve geliştiren en iyi ölçüm metodlarından birisidir.

OEE üç bileşenden oluşmaktadır:

1. Kullanılrlık (Availability): Makine çalışma süresinin planlı üretim süresine oranıdır.
2. Performans (Performance): Gerçekleşen çalışma hızının makine teorik hızına oranıdır.
3. Kalite (Quality): Toplam sağlam ürünün toplam üretime oranıdır.

Kullanılrlık oranını hesaplamak için makinelerin çalışma zamanları (uptime) ve duruş zamanları (downtime) değerleri tespit edilmelidir. Tesis bir yıl boyunca 52 hafta çalışır vaziyette olup haftada 45 saat mesai yapılmaktadır.

Tesiste gerçekleştirilen planlı duruşlar ikiye ayrılmaktadır. Yılda 4 defa 1'er hafta olmak üzere tesis tamamen bakıma alınmakta, revizyon faaliyetleri yapılmaktadır. Ayrıca her hafta bir gün bakım faaliyetleri gerçekleştirilmekte, toplamda 48 hafta 1'er gün bakım uygulanmaktadır.

Hattın %100 üretim kapasitesi ile çalışması durumunda üretim kapasitesi 1330 kalıp/vardiyadır. Kalıp değiştirme süreleri dikkate alındığında ise kapasite 1250 adete düşmektedir. Kalıp değiştirme sebebiyle günde 80 adet daha az kalıp

üretilebilmektedir. Yani 9 saatlik bir mesaide 32 dakika kalıp değıştirme zamanı vardır.

Planlı duruşlar için ayrılan toplam süre:

Toplam PM zamanı: $4 \times 45 + 48 \times 9 = 612$ saat

Makine arızalarından kaynaklanan plansız duruşlar için 2012 yılı ortalama süresi 38dk./vardiya olarak tespit edilmiştir.

Plansız duruşlar için ayrılan toplam süre:

Toplam CM zamanı: $(38 \text{ dk.} / 60) \times 5 \times 48 = 152$ saat

Kalıp değıştirme için ayrılan toplam süre:

Toplam Set-Up zamanı: $(32 \text{ dk.} / 60) \times 5 \times 48 = 128$ saat

Çizelge 7.1 : Döküm fabrikası performans kriterleri ve hedefleri.

Performans Kriteri / Hedefler	Gerçekleşen 2011	Hedef 2012	ÇEYREK 1	ÇEYREK 2	ÇEYREK 3	ÇEYREK 4	Gerçekleşen 2012
Sistem de oluşan arıza sürelerini 29,9den 28,5 dak/Vardiya indirilmesi	29,9 dakika	28,5 dakika	42,15 dakika	24,4 dakika	28,7 dakika	54,3 dakika	38 dakika
Freze Deliğı Kumlu Olması Nedeniyle Dökülemeyen Kasa sayılarını azaltmak	%23,30	%20,00	%22,62	%22,16	%17,36	%19,22	% 19,42
Modellere Kum Yapışması Nedeniyle Dökülemeyen Kasa sayılarını azaltmak.	%30,00	%25,00	%24,33	%18,32	%27,01	%33,50	% 26,91

Tesisin toplam çalışma zamanı = $52 \times 45 = 2340$ saat

Kullanılrlık: $(2340 - (612+152+128)) / (2340 - 612) = \%83$

Performans ölçütünü hesaplamak için makinelerde tam kapasitede kullanılabilecek kalıp sayısı ve gerçekleştirilen üretimde kullanılan kalıp sayıları dikkate alınmıştır. Tesisin toplamda 1250 kalıp kapasitesi olup gerçekleştirilen üretim 1062 adet kalıptır.

Performans: $1062 / 1250 = \%85$

Kalite ölçütünü hesaplamak için üretilen ürünlerdeki hurda oranları dikkate alınmıştır. Hattan çıkan ürünlerin hurda oranı $\%22$ 'dir.

Kalite: $1 - 0,22 = \%78$

OEE = $0,83 \times 0,85 \times 0,78 = \%55$

Tesiste yürütülen “Toplam Ekipman Verimliliği” çalışması neticesinde OEE değeri $\%55$ olarak tespit edilmiştir.

7.2 Mevcut Sistemin Analizi

Tesisin analizini gerçekleştirmek amacıyla toplam ekipman verimliliği hesaplandıktan sonra hatta bulunan makinelerin önem derecesini saptamak amacıyla kritik makine analizi yapılmış ve ardından tez kapsamında önerilen bir metodoloji ile bakım maliyetleri hesaplanmıştır.

7.2.1 Kritik makinelerin belirlenmesi

Kritik makinelerin belirlenmesinde Abdul-Nour (1998) tarafından gerçekleştirilen çalışma referans alınarak üretim hattındaki makinelerin önem derecelerini belirlemek amacıyla kritik makine analizi yapılmıştır. Amaç hattaki kritik makineleri tespit etmek ve önem derecesi yüksek makinelerin üzerine makinenin durumunu takip etmek amacıyla RFID etiketler, sensörler ve cihazlar yerleştirmektir. Uygulanan kritik makine analizinde ölçüt olarak dört kriter bulunmaktadır ve bu kriterlere göre her bir makine 1-3 (3: Çok kritik, 2: Kritik, 1: Kritik değil) arasında puanlanmıştır:

- Üretim prosesinde makine arızasının etkisi (**ME**)
- Makine kullanım oranı (Darboğaz vb.) (**KO**)
- Makine arızasının güvenlik ve ortam açısından neticeleri (**GON**)
- Makinenin teknik karmaşıklığı ve dış kaynaklı bakıma duyulan ihtiyaç (**MTK**)

- Makine kritikliği (**MK**)

$$MK = 3 * ME + 2 * KO + 3 * GON + 1 * MTK \quad (7.1)$$

Çizelge 7.2 : Kritik makine analizi.

Ağırlık	3	3	2	1		
Makine Kodu	GON	ME	KO	MTK	MK	Kritiklik Kodu
Ergitme Ocakları	3	2	3	1	22	A
Döküm İstasyonları	3	3	3	1	25	A
Sarsak Makinesi	2	3	3	2	23	A
Kumlama Makinesi	2	2	3	1	19	B
Kum Kırıcı Makinesi	2	3	3	1	22	A
Kum Taşıyıcı Bantlar	3	3	3	1	25	A
Kum Kalıplama Kasaları	3	3	3	1	25	A
Karıştırıcı	3	3	3	1	25	A
Silindirler	3	3	3	1	25	A
A: 20-27 arası En kritik makine grubu					A= 8	
B: 12-19 arası					B= 1	
C: 0-11 arası					C= 0	

Gerçekleştirilen analiz neticesinde üretim hattındaki 8 makine A grubu olarak yani en kritik makine grubunda belirlenmiştir. 1 adet makine ise B grubu makine olup hat için orta dereceli öneme sahiptir. Bu durumda hattaki; ergitme ocakları, döküm istasyonları, sarsak makinesi, kum kırıcı makinesi, kum taşıyıcı bantlar, kum kalıplama kasaları, karıştırıcı ve silindirler için makine durum takibinin yapılması ve ilgili donanımın kullanılması önerilmektedir.

7.2.2 Bakım maliyetleri

Bakım maliyetlerini oluşturan faktörler, üretim maliyetlerini içerisinde bakım ile ilişkilendirilebilecek bütün maliyetler göz önünde bulundurularak 4 ana başlık altında incelenmiştir:

1. Personel maliyetleri (Dış hizmet alımları dahil)
2. Ara stok ve yedek parça elde bulundurma maliyeti
3. Ara stok ve yedek parça elde bulundurmama maliyeti
4. Plansız duruş maliyeti

Belirtilen bakım maliyetlerini oluşturan faktörlerin hesaplanma metodolojisi detaylı olarak hesaplanmısı ilerik kısımda açıklandığı gibidir:

- Personel maliyetleri

Bakım faaliyetlerine mesai ayıran personel; firma bünyesinde istihdam edilen bakım personeli ya da üretim hattında çalışan makine operatörü olabilir. Bunun yanında arıza vb. durumlarda dışarıdan destek alınarak fason personel çalıştırılabilir.

$$\begin{aligned} PeM &= \text{Birim bakım personeli maliyeti} \\ &+ \text{Birim operatör maliyeti} * \text{Mesai oranı} \\ &+ \text{Birim fason bakım personeli maliyeti} \end{aligned} \quad (7.2)$$

- Ara stok ve yedek parça elde bulundurma maliyeti (Tanyaş ve Baskak 2008)

$$\begin{aligned} &\text{Elde bulundurma maliyeti (SBM)} \\ &= \text{SermayeMaliyeti} \\ &+ \text{Depolama ve Elleçleme Maliyeti} \\ &+ \text{Stok Riski Maliyeti} + \text{Stok Hizmet Maliyeti} \end{aligned} \quad (7.3)$$

- o Sermaye maliyeti

$$SM = \text{Birim maliyet} * (GO - \text{Stokun değer kazanma oranı}) \quad (7.4)$$

G.O: Getiri oranı olup uygulamada genellikle geçerli faiz oranına eşir olarak alınmaktadır. Şirketin işletme kredisi kullanması durumunda kredi faizi, getiri oranı olarak kullanılabilir (Tanyaş ve Baskak 2008)

Stokun değer kazanma oranı: Bir öngörü niteliğinde olup, stokun hesaplama dönemi içinde ne kadar değer kazanacağını bir tahminidir. Emin olunmadığı durumlarda bu değerın sıfır alınması önerilir. Stokun değer kaybının söz konusu olduğu durumlarda negatif (-) yönde hesaba katılabilir (Tanyaş ve Baskak 2008)

- Depolama ve elleçleme maliyeti

$$DEM = \left(\frac{\text{Söz konusu malzeme için ortalama kullanılan hacim}}{\text{Toplam kullanılan depolama hacmi}} \right) \bigg/ \frac{\text{Yıllık ortalama stok miktarı}}{\text{Yıllık depolama gideri}} \quad (7.5)$$

- Stok riski maliyeti

Depoda bulunan malzemenin bozulması, kaybı, raf veya teknolojik ömrünün dolması lasılığı ile ilgili olarak bu maliyet, geçmişte ortaya çıkan bu gibi durumların istatistiksel bilgileri çerçevesinde ortalama bir değer şeklinde alınabilir (Tanyaş ve Baskak 2008).

$$SRM = \text{Birim maliyet} * \text{Yıllık kayıp oranı} \quad (7.6)$$

- Stok hizmet maliyeti

Sigorta giderleri ve malzemenin stokta bulunduğu sırada bozulmaması için gerekli bakım-tutum masrafları, bu maliyet içinde değerlendirilir (Tanyaş ve Baskak 2008).

$$SHM = \text{Birim maliyet} * \text{Yıllık hizmet maliyeti oranı} \quad (7.7)$$

- Vergi

Stokların mali yıl sonunda aktif değer olarak bir sonraki yıla, bir önceki yıldan daha fazla devretmesi durumunda oluşan ödemedir. Söz konusu verginin stok üzerine etkisi hesaplanabildiği takdirde dikkate alınır (Tanyaş ve Baskak 2008).

- Yedek parça sipariş ve onarım hazırlık maliyeti

$$\begin{aligned} &\text{Yedek parça sipariş ve onarım hazırlık maliyeti} \\ &= \text{Sipariş maliyeti} + \text{Plansız duruş maliyeti} \end{aligned} \quad (7.8)$$

- Sipariş maliyeti (Tanyaş ve Baskak 2008)

$$SiM = \frac{\text{Yıllık tedarik işlemleri toplam gideri (Malın satınalma gideri hariç)}}{\text{Toplam sipariş sayısı}} \quad (7.9)$$

- Plansız duruş maliyeti (Arıza maliyeti)

Bakımda arızadan kaynaklanan bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi sırasında ortaya çıkan hazırlık maliyetleridir. Örneğin makinenin veya üretim hattının rassal arızalardan kaynaklanan hatalardan sonra tekrar işe hazırlanması sırasında geçen zamanın fırsat maliyetleri (bu esnada üretim yapılamamasının sebep olduğu kalıp kuruması vb.) bu kapsamda tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} \dot{U}HM &= \text{Duruş süresi} * \text{Duruş maliyeti} \\ &+ \text{Hazırlık işlemleri maliyeti} \end{aligned} \quad (7.10)$$

- Ara stok ve yedek parça elde bulundurmama maliyeti (Tanyaş ve Baskak 2008)
 - Bekleyen sipariş maliyeti

Müşterinin talebinin öngörülen zamandan daha geç karşılanma durumudur. Bu durumda müşteriden yapılan tahsilat ta gecikebilecektir (Tanyaş ve Baskak 2008).

$$\begin{aligned} BSM &= \text{Birim kar} * \text{Bekleme süresi} * \text{Getiri oranı} \\ &* \text{İmaj kaybı katsayısı} \end{aligned} \quad (7.11)$$

- Kayıp satış maliyeti

Müşteri talebinin, öngörülen zamanda karşılanamaması nedeniyle müşterinin siparişini iptal etmesi veya bir daha hiç sipariş vermemesi durumuna karşılık gelen maliyettir (Tanyaş ve Baskak 2008).

$$\begin{aligned} KSM &= \text{Birim kar} * \text{Yıllık satış miktarı} * 7 \text{ yıl} \\ &* 8 \text{ kayıp müşteri} \end{aligned} \quad (7.12)$$

Çalışma kapsamında ele alınan tesisin yıllık bakım maliyetleri önerilen metodoloji kullanılarak yıllık bütçe içerisinde hesaplanmıştır.

Çizelge 7.3 : Döküm fabrikası yıllık bütçesi.

DÖKÜM FABRİKASI	2 0 1 2
Maaşlar	1.133.239 ₺
Kıdem Tazminatı	33.245 ₺
İhbar Tazminatı	1.467 ₺
İşveren Payları	206.321 ₺
Kıdem Karşılığı	127.813 ₺
Eğitim	3.156 ₺
Personel Giderleri	137.988 ₺
Temsil+Seyahat	2.749 ₺
Fason İşçilik	0 ₺
Enerji	2.060.271 ₺
Bakım Onarım (Dış Kaynaklı)	50.476 ₺
Danışmanlık	4.728 ₺
Ofis Giderleri	3.391 ₺
Haberleşme	1.506 ₺
Amortisman	166.162 ₺
Sigorta	47.209 ₺
Harç Vs.	7.482 ₺
İşletme Malzemeleri	676.140 ₺
Diğer Giderler	5.106 ₺
Gümrükleme Ve Nakliye Giderleri	37.796 ₺
Leasing Giderleri	17.728 ₺
Ekstra Nakliye Giderleri	53.154 ₺
Çevre Ve İsg Giderleri	155.620 ₺
IT Masrafları	0 ₺
Ambalaj Malzemesi Gideri	0 ₺
Toplam	4.932.747 ₺
Malzeme	2.402.443 ₺
GENEL TOPLAM	7.335.190 ₺

Tesisin yıllık bakım maliyetini çıkarmak için 2012 bütçesi ele alınmıştır. 2012 yılı toplam giderleri 7.335.190 TL olup, bakım ile ilgili maliyetler toplam maliyetler içerisinde hesaplanmıştır. Çizelge 7.3 çalışmanın yapıldığı döküm fabrikasının yıllık harcamalarını göstermektedir.

- Personel Maliyetleri

Tesiste 7 adet bakım personeli olup, duruş zamanlarında ise tesis personeli de bakım faaliyetleri ile ilgilenmektedir. Toplam bütçe içerisinde personel maliyetleri personel ile ilişkilendirilen kalemlerin toplamı üzerinden hesaplanmıştır. Yani bir yıl için personel maliyeti; maaşlar, kıdem tazminatı, ihbar tazminatı, işveren payları, kıdem karşılığı, eğitim ve personel giderleri kalemlerinin toplamı olarak hesaplanmıştır. Bu durumda:

$$\text{Pers. M.} = (7 \times 2.739) \times 12 + ((1.215.589) \times 0,26) + 50.476 = 596.605 \text{ ₺}$$

Yıllık bütçe içerisinde personel maliyetleri ile ilişkili olan tüm kalemler toplandığında, yıllık değer 1.691.336 ₺ olmaktadır. Üretim hattında çalışan personel sayısı 37 olup 1.215.589 ₺ 50 kişilik toplam personel masrafının 37 kişi için olan kısmıdır.

Yıllık çalışma süresi 2340 saat olup, planlı duruşlar için ayrılan toplam süre 612 saattir. Üretim personeli planlı bakım zamanlarında da görevlerine devam etmekte olup, bakım prosedürlerinde belirtilen bakım faaliyetlerini gerçekleştirmektedirler. Bu nedenler üretim personelinin bakım faaliyetleri için harcadığı zamanın toplam zamanı oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$612 / 2340 = 0,26$$

- Ara stok ve yedek parça elde bulundurma maliyeti

Tesiste duruş süreleri yüksek olduğu için yüksek miktarda stok tutulmaktadır. Tutulan toplam stokun ortalama yıllık maliyeti 355.628 ₺'dir. Firmanın müşterilerine hızlı tedarik sağlama politikasının olması sebebiyle stok seviyeleri yüksektir. Ayrıca arızalardan kaynaklanan duruş sayılarının ve planlı duruş sayılarının yüksek oluşu stok seviyelerini yukarı çekmektedir.

Aylık bazda ortalama stok değeri adet olarak 64.904 adettir. Emniyet stok seviyesi 20.000 adettir. Firma ile yapılan görüşmeler neticesinde ve yapılan toplam ekipman verimliliği çalışması neticesinde stok seviyesinin; sipariş gecikmesi yaşamamak ve duruşlar sebebiyle fazla olduğu tespit edilmiştir. Stokların seviyesinde bakım sebebiyle gerçekleşen artış oranı hesap edilirken, plansız duruş süreleri göz önüne alınmıştır. Plansız duruşların ne zaman gerçekleşeceğini kestirmek zor olduğu için, tutulan emniyet stoklarının seviyesi artmaktadır. Bir yıl boyunca gerçekleşen plansız duruş süresi 152 saat olup, toplam çalışma zamanının %6,5'ini oluşturmaktadır. Bu oran göz önüne alındığında bakımdan kaynaklanan stok maliyeti şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Stok M.} = 355.628 \times 0,065 = 23.075 \text{ ₺}$$

Tesisin bakımlardan kaynaklanan tahmini yedek parça ihtiyacı için 10 yıllık ihtiyaç listesi çıkarılmıştır. Yıllık bazda yedek parça maliyeti 171.572 ₺ olarak tespit edilmiştir. Bu durumda toplam yedek parça ve stok bulundurma maliyeti:

$$\text{Yedek Parça ve Stok M.} = 23.075 + 171.572 = 194.647 \text{ ₺}$$

Çizelge 7.4 : Tesisin 10 yıllık yedek parça ihtiyacı.

Mikser Grubu	472.000 ₺
Kum Taşıyıcı Bantlar	188.800 ₺
Hidrolik Sistem	247.800 ₺
Temizleme Makinesi	188.800 ₺
Ocaklar	354.000 ₺
Döküm Hattı	146.320 ₺
Hurdalık	33.040 ₺
Emiciler	47.200 ₺
Aşı Makinesi	37.760 ₺
TOPLAM (10 YIL)	1.715.720 ₺

- Ara stok ve yedek parça elde bulundurmama maliyeti

Tesiste yüksek oranda stok tutulduğu için herhangi bir sipariş gecikmesi yaşanmamaktadır. Ürün stokunun yüksek tutulmasının bir diğer nedeni de raf ömrünün uzun olmasıdır. Bu sebepler ile ara stok ve yedek parça elde bulundurmama maliyeti bulunmamaktadır.

- Plansız duruş maliyeti

Tesiste arızalardan kaynaklanan duruş süreleri 5 dakikayı aştığında kalıp için hazırlanan yaş kum nemini hızla kaybettiğinden tekrar işleme girmek zorunda kalmaktadır. Bu duruşlar nedeniyle tekrar işleme giren kum oranı %5 seviyesindedir. Ayrıca yeniden işleme girmeden kaynaklanan enerji maliyetleri de doğru orantılı olarak %5 oranında artmaktadır. Toplam malzeme bütçesi içerisinde kum için kullanılan malzemeler ve toplam enerji tüketim maliyeti üzerinden plansız duruş maliyetleri hesaplanmıştır.

$$\text{Plansız Duruş M.} = 114.368 \times 0,05 + 2.060.271 \times 0,05 = 108.731 \text{ ₺}$$

Üretim için kullanılan kumun ana bileşenleri; kum, bentonit, ağaç tozu ve kömür tozudur. Kum oluşturulan bu malzemelerin yıllık stok değerleri ise tabloda belirtildiği gibidir. Enerji maliyetlerinin toplam enerji maliyeti üzerinden hesaplanmasının sebebi ise dolaylı olarak, üretim hattındaki bütün proseslerin uzaması nedeniyle aynı oranda enerji sarf edilmesidir. Mesela ocaklarda bekleyen metalin ergitilmesi için harcanan enerji duruşlar sebebiyle artmaktadır.

Çizelge 7.5 : Kum bileşenleri ve yıllık kum maliyeti.

Kum	69.502 ₺
Bentonit	30455 ₺
Ağaç Tozu	2802 ₺
Kömür Tozu	11609 ₺
TOPLAM	114.368 ₺

Tüm bakım maliyet kalemleri göz önüne alındığında bir yıl süre ile tesisin gerçekleşen bakım maliyeti şu şekildedir:

Toplam Bakım Maliyeti = Pers. M. + Yedek Parça ve Stok Elde Bulundurma M. + Yedek Parça ve Stok Elde Bulundurmama M. + Plansız Duruş M.

Toplam Bakım Maliyeti = 596.605 + 194.647 + 0 + 108.731 = 899.983 ₺

Bu durumda yıllık maliyetler içerisinde bakım maliyetleri %12,27 seviyesindedir.

7.3 Bakım Kuralları ve Varsayımları

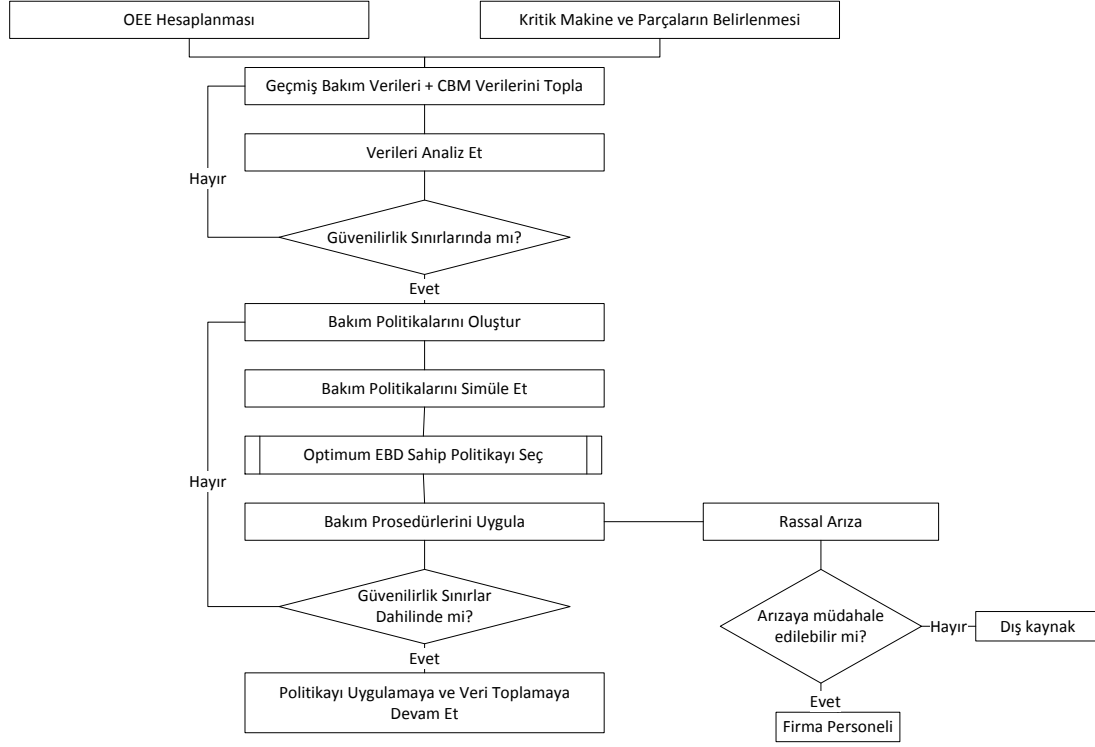
Analizi yapılacak olan tesiste 21 adet makine bulunmakta olup tesisin özellikleri dikkate alınarak varsayımlar şu şekilde geliştirilmiştir:

- Bileşen durumu kalan ömrüne göre “zaman esaslı” ya da “kullanım esaslı”dır.
- Tezgah bir bileşen bozulduğunda arızalanır.
- Bileşen durumu düzeltme gerçekleştikten sonra yenilenir.
- Bakım faaliyetleri “önleyici bakım” ve “düzeltici bakım” olarak ikiye ayrılır.
- CBM önleyici bakım için karar verilmesini sağlar.
- Bileşenin düzgün şekilde çalışıp çalışmadığını belirlemek için eşik seviyeleri belirlenir.
- Bileşenler eşik seviyesi dışındaysa bakım faaliyeti uygulanır.
- Her bir tezgah için toplanan veriler “geçmiş bakım verileri” ve “CBM verileri” olarak ikiye ayrılır.
- Veriler analiz edilerek dağılımları belirlenir.
- Makine kullanım verileri “kullanım temelli kalan ömür” ve “kullanım temelli bakım görevleri” için kullanılır.
- Tüm bakım prosedürleri belirlenir.
- Ortalama bakım süreleri yapılan testler neticesinde tanımlanır.
- Makine ve personel birim çalışma maliyetleri belirlenir.

7.3.1 Bakım metodolojisi akış diyagramı

Tesis için önerilen bakım metodolojisinde öncelikle tesise ait veriler toplanmakta olup, ardından tesis karakteristikleri göz önünde bulundurularak bakım politikaları geliştirilmektedir. Geliştirilen bu bakım politikalarının istenilen güvenilirlik ölçütlerinin sağlayıp sağlamadığı test edilmekte, eğer tatmin edici sonuçlar elde edilmiş ise önerilen bakım politikasının uygulanmasına devam edilmektedir. Aksi

takdirde yeni bakım politikaları test edilerek, bunlardan ekonomik bakım düzeyine sahip olan seçilerek sonuçları gözlemlenecektir. Önerilen bakım metodolojisine ait diyagramı şekil 7.2’de gösterilmiştir.

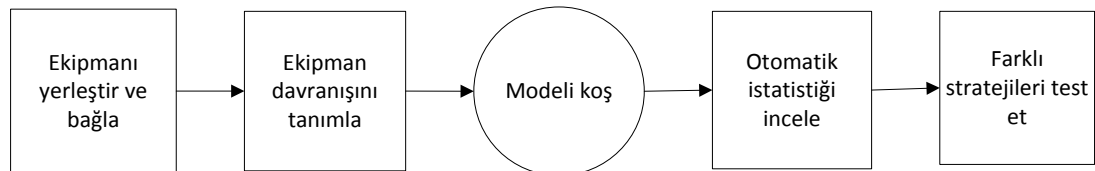


Şekil 7.2 : Bakım metodolojisi akış diyagramı.

7.3.2 Bakım Modellemesinde Simülasyon Tekniği

Tesisin modellemesinde Arena-Packaging modül kullanılmıştır. Arena Packaging şablonu yüksek hızda ve yüksek hacimde üretim yapan üretim sistemlerinin hızlı ve doğru bir biçimde benzetiminin yapılabilmesi için geliştirilmiştir.

Packaging şablonu üzerinde gerçekleştirilen modelleme beş adımda oluşturulmuştur. İzlenen metodolojinin adımları aşağıdaki gibidir:



Şekil 7.3 : Simülasyon modelleme metodolojisi.

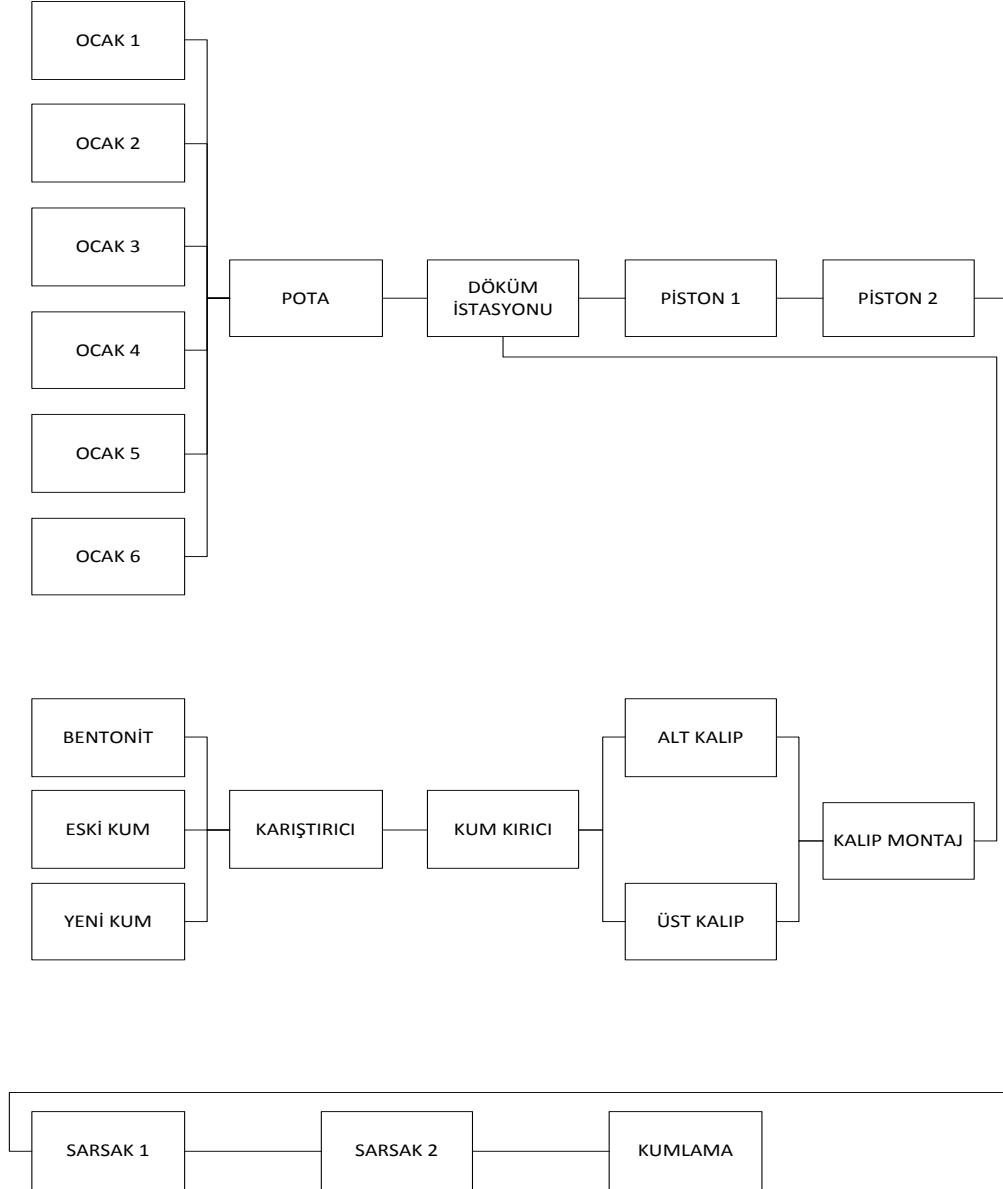
7.4 Geliştirilen Senaryolar

7.4.1 Senaryo 1: Periyodik bakım politikası

Çalışma kapsamında incelenen döküm hattı üzerinde birbirine seri veya paralel bağlı 21 adet makine olup yerleşimi Şekil 7.5’te gösterilmiştir. Tesiste bulunan ocaklarda metal ergitilmekte, diğer taraftan bentonit, eski kum ve yeni kum birbiri ile karıştırılarak kum kalıpları hazırlanmaktadır. Alt ve üst kalıbın birbiri ile birleştirilmesinin ardından kalıpların içerisine ergitilmiş metal dökülmektedir. Ardından soğuma işlemi gerçekleştirildikten sonra sarsak makinelerinde kum kalıplar

kırılmakta ve döküm parçalar elde edilmektedir. Döküm parçalar kumlama işleminden geçtikten sonra da üretim hattından ayrılmaktadır.

Şekil 7.5 : Döküm hattı.

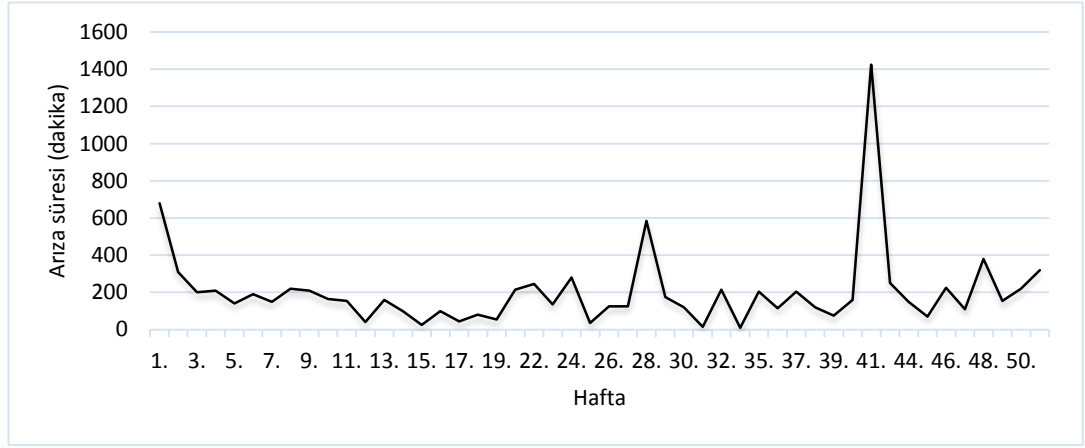


Tesiste bir yıl süre ile meydana gelen toplam ekipman arızası 302 adettir. Toplam planlı duruş süresi ise 612 saat olup, tahmini arızalar arası beklenen süre, arıza oranı (λ) kullanılarak şu şekilde hesaplanmıştır:

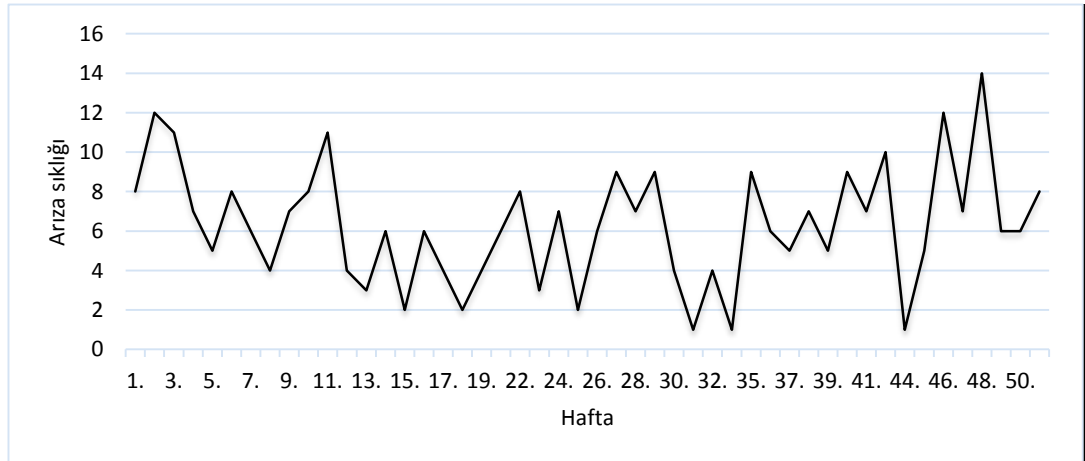
$$\lambda = \frac{302}{(2340 - 612)} = 0,1748 \text{ arıza/saat} \quad (7.13)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = 5,72 \text{ saat/arıza} \quad (7.14)$$

Firma tarafından sağlanan veriler ile toplam ve haftalık arıza süreleri tespit edilebilmiştir. Elde bulundurulanan örneklemin yeterli büyüklüğe sahip olması sebebiyle arızalar arası sürenin normal dağılıma uyduğu kabul edilmiştir. Tesiste meydana gelen arızaların toplam süresi 152 saat olup duruş zamanı 32 dakika/arızadır ve standart sapması 14,76 dakikadır. Haftalık arıza sıklığı ve haftalık duruş zamanları ise aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibidir:



Şekil 7.6 : Haftalık duruş süresi.



Şekil 7.7 : Haftalık arıza sıklığı.

Bakım politikaları tespit edilirken dikkate alınan bir başka ölçüt güvenilirliktir. Tesis yerleşim planı göz önüne alındığında Ekspansiyel dağılıma göre güvenilirlik şu şekilde hesaplanmıştır:

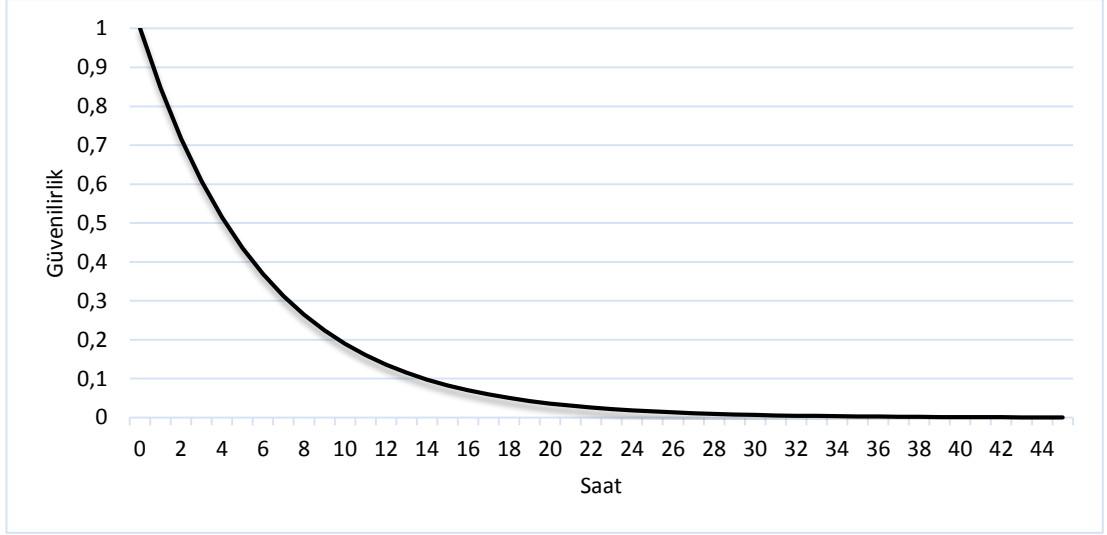
$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (7.35)$$

$$R_{\text{hat}} = (1-(1-R_1) * (1-R_2) * (1-R_3) * (1-R_4) * (1-R_5) * (1-R_6)) * R_7 * R_8 * (7.36) \\ (1-(1-R_9) * (1-R_{10}) * (1-R_{11})) * R_{12} * R_{13} * (1-(1-R_{14}) * (1-R_{15})) * R_{16} \\ * R_{17} * R_{18} * R_{19} * R_{20} * R_{21}$$

Tesis tarafından tutulan kayıtlar dahilinde; gerçekleşen arıza sayıları, arızaların hangi haftaya ait oldukları ve arıza türleri bilinmektedir. Haftalık bazda kaç adet arıza gerçekleştiğinin bilgisi bulunmaktadır. Toplam 48 çalışma haftası içerisinde 302 adet arıza gerçekleşmiş olup, haftalık ortalama arıza sayısı 6,3 arıza/hafta'dır. Ancak hangi makinenin ne zaman arızalandığının kaydı bulunmamaktadır. Bu sebeple makine bazında arıza olasılıkları Uniform dağılıma göre kabul edilmiş ve hesaplamalar bu şekilde yapılmıştır.

Güvenilirlik değeri hesaplanırken sabit arıza oranı modeli (Ebeling, 1997) kullanılmış olup, güvenilirliğin üstel dağılıma uyduğu kabul edilmiştir. Verilerin hangi dağılıma uyduğunun belirlenmesi için ayrı bir test yapılmamasının sebebi makinelerin duruş tarihlerinin tam olarak bilinmemesi, sadece haftalık duruş sayısına ait verilerin olmasıdır.

Yapılan hesaplamalar neticesince 9 saat için hattın güvenilirliği %22,4 olarak hesaplanmıştır. Ebeling (1997), güvenilirliği belirli bir zaman dilimi içerisinde sistemin sorunsuz bir şekilde çalışma ihtimali olarak tanımlamıştır. Bu tanıma göre güvenilirlik değerinin düşük olmasının sebebi arıza sayısının yüksek olması olarak gösterilebilir. Yani hattın 9 saat içerisinde arıza verme olasılığı %77,6 olup güvenilirlik grafiği şekil 7.8'de görüldüğü gibidir:



Şekil 7.8 : Bir haftalık süre için hattın güvenirliliği.

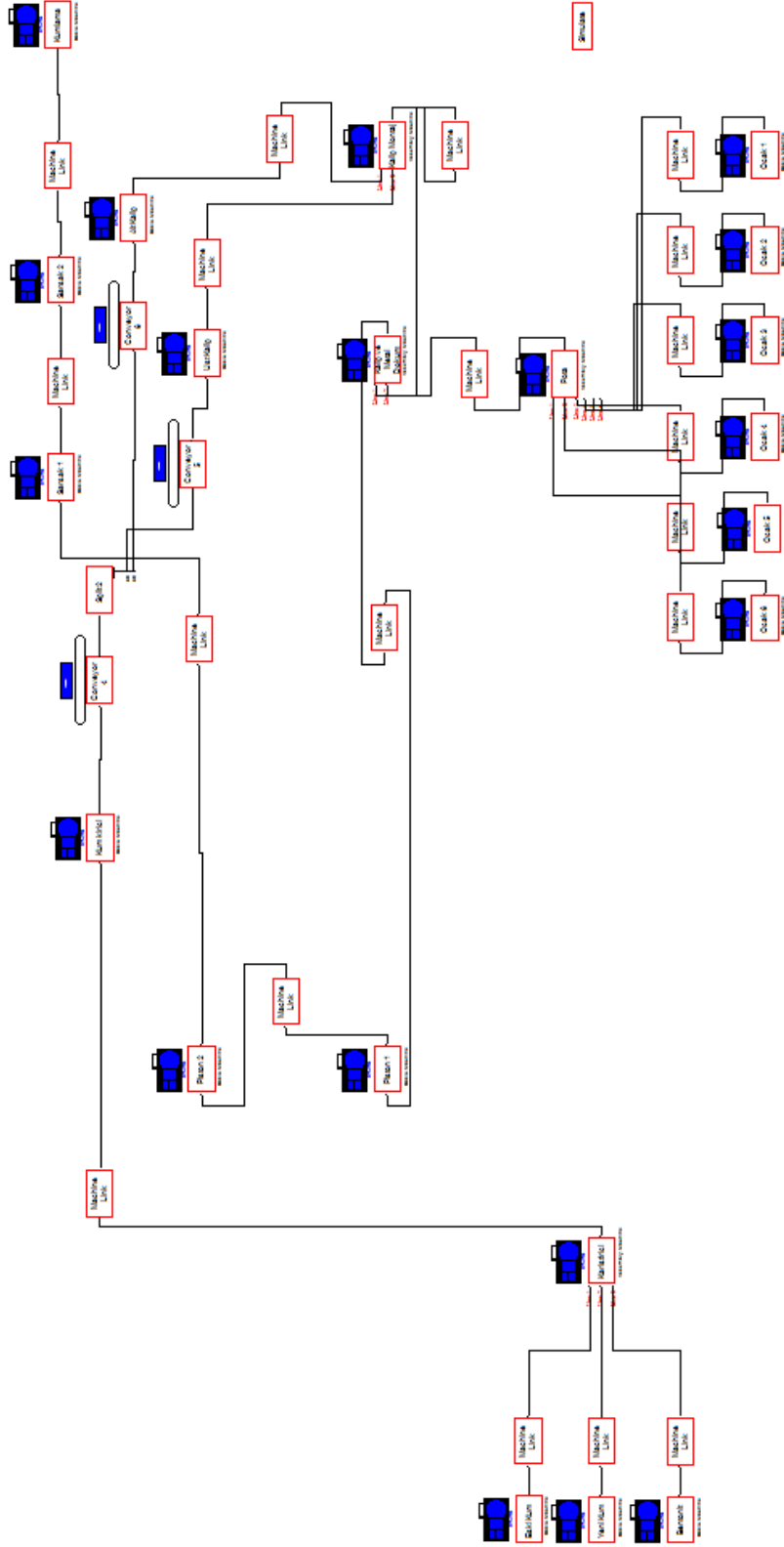
Arena programı üzerinde kurulan model şekil 7.9’da görülmektedir. Makine modülü kullanılarak kurulan modelde 21 adet makine kullanılmıştır. Her bir makine için kayıplar, güvenirlilik, planlı duruşlar ve maliyetler tanımlanmıştır.

Planlı duruşlar 2340 saatlik çalışma periyodu boyunca 48 adet 9 saatlik duruş ve 4 adet 45 saatlik (bir haftalık) duruş olarak tanımlanmıştır.

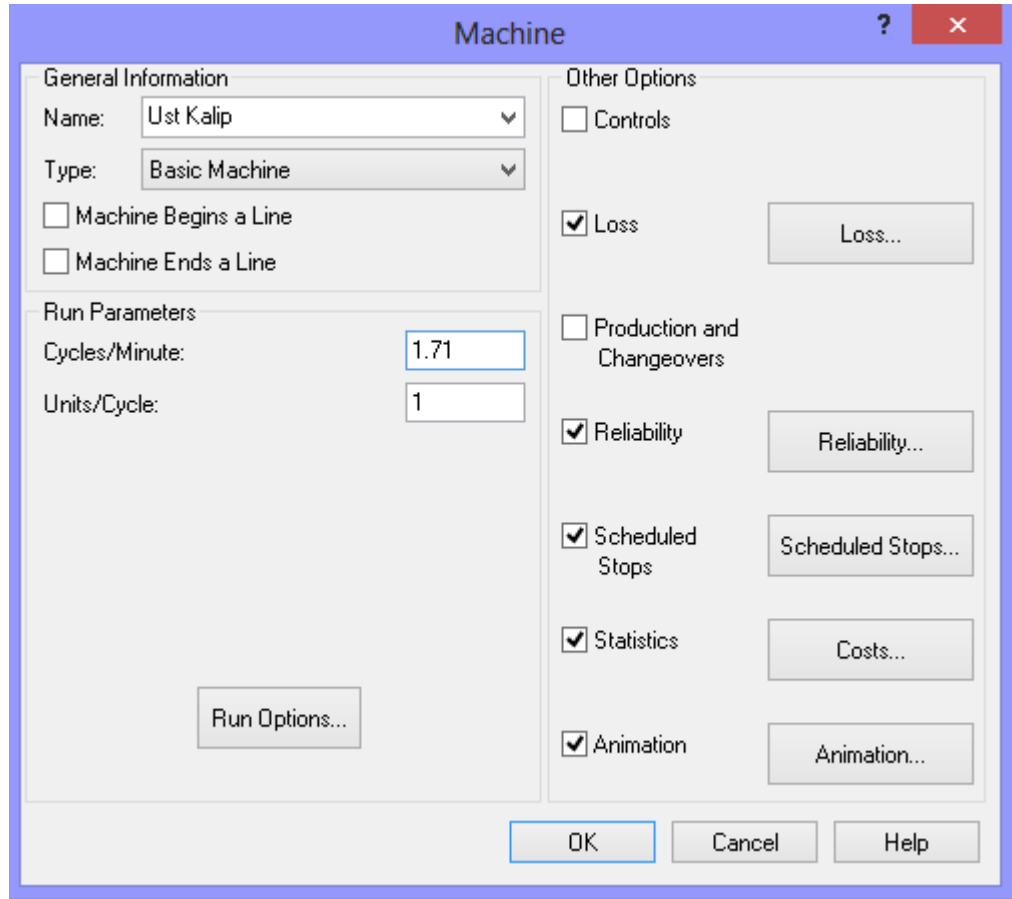
Arızalar zaman esaslı olarak Uniform dağılıma göre 64 ile 108 saat aralığında tanımlanmıştır. Makine bazında arıza kayıtları tutulmadığı için makinelerin arıza verme olasılıkları eşit kabul edilmiştir. Bir yılda gerçekleşen toplam arıza sayısı 302 adet olduğu için kurulan simülasyon modelinde aynı arıza sayısını verecek şekilde dağılım tanımlanmıştır. Gerçekleşen ortalama tamir süresinin (MTTR: Mean Time to Repair) elde yeterli veri kaydı olduğu için (52 hafta için arıza süreleri) Normal dağılıma uyduğu kabul edilmiştir. Böylece ortalama arıza süresi 32,1 dakika ve standart sapması 14,76 dakika olarak tanımlanmıştır.

Üretim hızını ayarlamak için üretilen kalıp sayıları göz önüne alınmıştır. Ayda 1062 kalıp üretim gerçekleştirdiği göz önüne alındığında makine bazında üretim hızı 1,71 çevrim/dakika ve her çevrimde 1 adet ürün üretildiği tanımlanmıştır.

Belirtilen değerlerle elde edilen sonuçlar çizelge 7.6’da gösterilmiştir. Yani kurulan bu modelde tesisin varolan durumu tanımlanmıştır.



Şekil 7.9 : Arena üzerinde kurulan model.



The 'Machine' dialog box is used for configuring machine parameters. It is divided into two main sections: 'General Information' and 'Other Options'.

General Information:

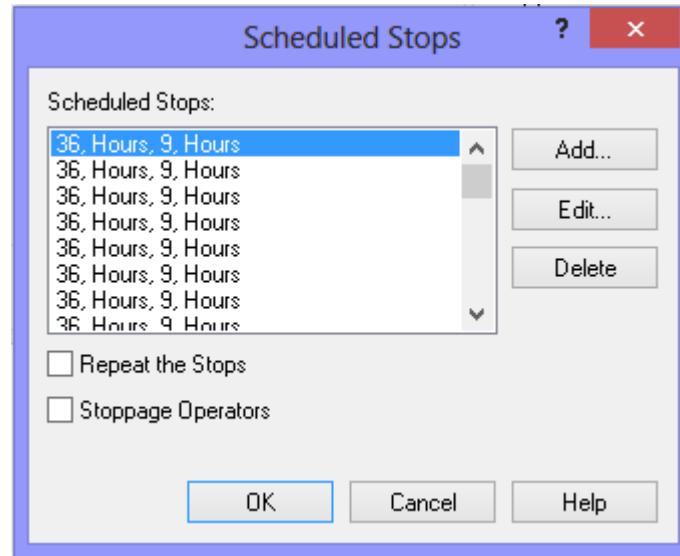
- Name:** Ust Kalip
- Type:** Basic Machine
- ☐ Machine Begins a Line
- ☐ Machine Ends a Line
- Run Parameters:**
 - Cycles/Minute:** 1.71
 - Units/Cycle:** 1
- Run Options...** button

Other Options:

- ☐ Controls
- ☒ Loss (with **Loss...** button)
- ☐ Production and Changeovers
- ☒ Reliability (with **Reliability...** button)
- ☒ Scheduled Stops (with **Scheduled Stops...** button)
- ☒ Statistics (with **Costs...** button)
- ☒ Animation (with **Animation...** button)

Buttons at the bottom: **OK**, **Cancel**, **Help**.

Şekil 7.10 : Makine değişkenlerini tanımlama ekranı.



The 'Scheduled Stops' dialog box is used for defining planned stop times. It features a list of stop entries and several control options.

Scheduled Stops:

- A list box containing multiple entries: "36, Hours, 9, Hours". The first entry is selected.
- Add...** button
- Edit...** button
- Delete** button
- ☐ Repeat the Stops
- ☐ Stoppage Operators

Buttons at the bottom: **OK**, **Cancel**, **Help**.

Şekil 7.11 : Planlı duruşlar oluşturma ekranı.

Şekil 7.12 : Planlı duruş tanımlama ekranı.

Şekil 7.13 : Arıza tanımlama ekranı.

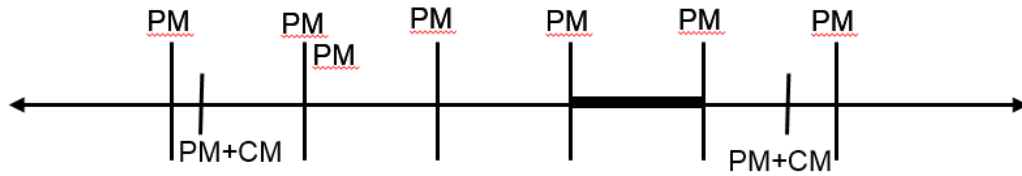
Kurulan modelin 2340 saat boyunca 3 defa koşulması ile elde edilen sonuçlar ile tesisin benzetim modeli kurulmuştur.

Çizelge 7.6 : Periyodik bakım politikası sonuçları.

Güvenilirlik	Üretilen Toplam Ürün	Toplam Planlı Duruş Sayısı	Arıza Sayısı	Toplam Arıza Zamanı (sa.)	Maliyet
%22,4	261.065	52	301	152,36	899.983 ₺

7.4.2 Senaryo 2: Fırsatçı bakım politikası

Tesis için siparişler yoğun geldiğinde uygulanması için önerilen bakım politikasıdır. Her hafta bir gün süre ile gerçekleştirilen duruşlarda uygulanan bakım faaliyetlerinden temel olanlar gerçekleştirilip, minör faaliyetler makineler arıza verdiği zaman uygulanacaktır. Bu durumda haftada bir gün süre ile gerçekleştirilen planlı bakım faaliyetlerinin süresinin yarıya indirilmesine karar verilmiştir. Yani haftalık duruşlar her hafta 4,5 saat süre ile yapılacaktır. Arıza meydana geldiği zaman ise 1,5 saat süre ile bakım yapılacaktır. Ayrıca revizyon faaliyetleri senede bir kez yapılacaktır. Yani tesis yılda sadece bir kez bir hafta süre ile revizyona alınacaktır.



Şekil 7.14 : Fırsatçı bakım politikası.

Kurulan modelde periyodik bakımlarda gerçekleştirilecek bu değişim 48 hafta için tanımlanan bakımların 4,5 saat olarak değiştirilmesi ile sağlanmıştır. Ayrıca 4 defa tanımlanan 45 saatlik planlı duruş sayısı 1'e indirilmiştir. Arızaların yine Uniform dağılıma uyduğu kabul edilmiş olup, arıza oranlarında beklenen düşümlere göre değiştirilmiştir ve böylece beklenen arıza sayıları elde edilmiştir.

Hat arıza verdiği zaman bakım personeli arıza veren makine ile meşgul olacağı için mavi yaka bakım personeli sayısı iki katına çıkarılacaktır. Böylece diğer makinelerin bakımları da bakım personellerinin katkısı ile gerçekleştirilmiş olacaktır.

Tesiste 1 beyaz yaka ve 6 mavi yaka olmak üzere toplam 7 bakım personeli bulunmaktadır. Mavi yaka bakım personeli sayısının iki katına çıkarılması toplam bakım personelinin 13 kişiden oluşması demektir. Bu durumda bakım ekibinin yıllık maliyeti 197.208 ₺ kadar artmaktadır.

$$2739 \times 6 \times 12 = 197.208 \text{ ₺}$$

Bir personelin aylık maliyeti: 2739 ₺

Personel sayısı: 6 mavi yaka

Çalışma süresi: 12 ay

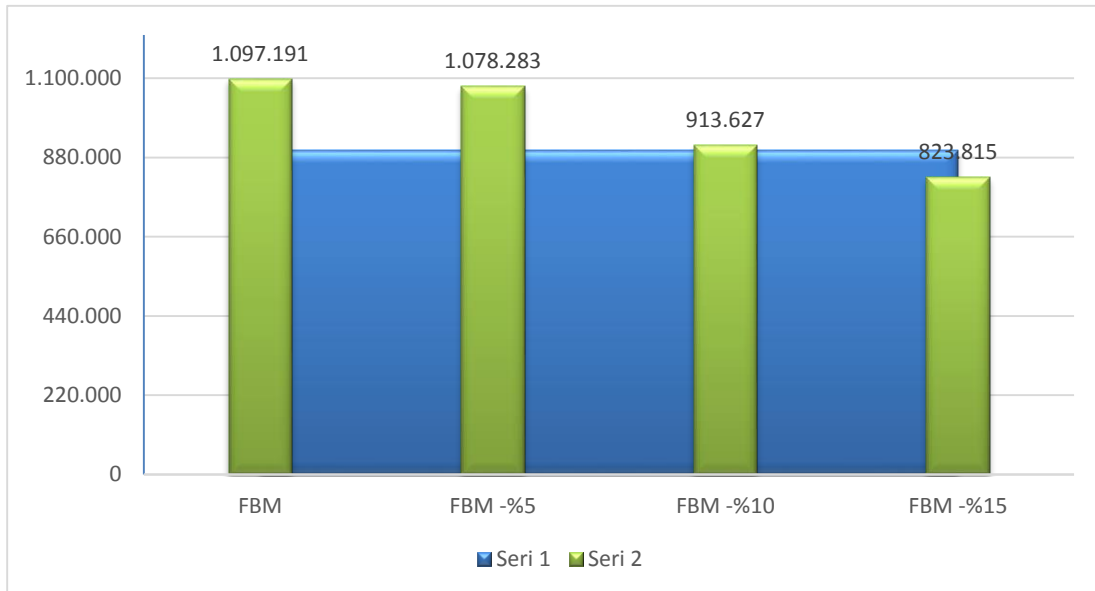
Belirtilen varsayımlar dahilinde üç durum incelenmiştir:

- Arıza olasılığının %5 azalması
- Arıza olasılığının %10 azalması
- Arıza olasılığının %15 azalması

Çizelge 7.7 : Fırsatçı bakım politikası sonuçları.

Senaryolar	Üretilen Toplam Ürün	Toplam Planlı Duruş Sayısı	Arıza Sayısı	Toplam Arıza Zamanı (saat)	Maliyet
FBP	262.845	52	301	444	1.097.191 ₺
FBP -%5	267.795	52	287	431	1.078.283 ₺
FBP -%10	274.774	52	271	404	913.627 ₺
FBP -%15	279.398	52	257	385	823.815 ₺

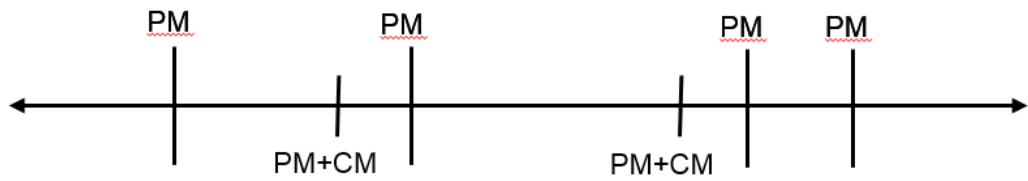
Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki önerilen bakım politikası ile arıza oranlarında %15 düşüş sağlanması durumunda bakım politikası ekonomik yönden uygulanabilir düzeye gelmektedir.



Şekil 7.15 : Fırsatçı bakım politikası maliyetleri ile periyodik bakım politikasının birbiri ile karşılaştırılması.

7.4.3 Senaryo 3: Durum esaslı bakım (CBM) destekli fırsatçı bakım

Gözleme faaliyetleri ile makinelerin güncel durumu takip edilerek uygulanacak bakım politikasıdır. Bu bakım politikasında bakım seviyesine gelindiği zaman önleyici bakım (PM) faaliyetleri 4,5 saat süre ile yapılacaktır. Yani fırsatçı bakım politikasında her hafta yapılan periyodik bakımlar bu politika ile bakım koşulları olduğu zaman yapılacaktır. Düzeltici bakım faaliyetleri ise arıza gerçekleştiği zaman uygulanacak, ayrıca arıza gerçekleştiği zaman 1,5 saat süre ile planlı bakım yapılacaktır.



Şekil 7.16 : Durum esaslı bakım (CBM) destekli fırsatçı bakım politikası.

Gözleme faaliyetleri üç şekilde yapılmaktadır:

- Personel tarafından yapılan gözlem faaliyetleri
- Cihazlardan alınan kayıtlar
- Geçmiş bakım verileri

Arena Packaging modülde güvenilirlik üç şekilde tanımlanabilmektedir:

- Tahmini çalışma zamanı (Expected uptime)
- Belirli bir zaman aralığında güvenilirlik (Reliability over a time span)
- Özel hata türü (Individual failure stream)

Güvenilirlik ölçütünü baz aldığımız bu politikada “belirli bir zaman aralığında güvenilirlik” seçeneği ile 9 saat için makine bazında %86,3 güvenilirlik tanımlanmıştır. Bütün makineler için aynı güvenilirlik düzeyi tanımlanmış olup bunun sebebi tutulan arıza kayıtlarının hangi makineye ait olduğunun bilinmemesidir. Tamir süresi ise normal dağılıma göre ortalaması 32,1 dakika ve standart sapması 14,76 dakika olarak tanımlanmıştır.

Reliability

Define Downtimes Using:

☐ Expected Uptime (%)

☒ Reliability Over A Time Span

☐ Individual Failure Streams

Parameters for Option

Time Span: 9 Time Units: Hours

Reliability for Time Span: .863

Time to Repair: NORM(32.1 , 14.76) Time Units: Minutes

☐ Repair Operators

OK Cancel Help

Şekil 7.17 : Makinelere güvenilirlik tanımlanması.

Makine durumunun takip edilerek bakım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bu senaryoda sırasıyla hattın güvenilirliğinin; %5, %10 ve %15 artması durumları modellenmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar çizelge 7.8’de görülmektedir. Arena programı ile yapılan modellemede maliyetlerin içerisine durum esaslı takibi sağlayacak RFID teknolojisi, donanımlar ve yazılımı içeren yatırım maliyeti dahil edilmemiştir. Bunun sebebi yatırım maliyetinde planlananın dışında olabilecek değişikliklerdir. Yatırım maliyetine meydana gelebilecek rassallıkları katarak gerçekleştirilen ve sistemin olurluluğunun araştırıldığı kısım Monte Carlo simülasyonu tekniği ile yapılmıştır.

Çizelge 7.8 : Durum esaslı bakım destekli fırsatçı bakım politikası sonuçları.

Güvenilirlik	Üretilen Toplam Ürün (adet)	Toplam Planlı Duruş Sayısı	Arıza Sayısı	Toplam Arıza Zamanı (saat)	Maliyet
%22,4	262.845	52	301	152,36	899.983 ₺
%27,4	265.037	52	249	133,92	761.173 ₺
%32,4	274.753	52	226	120,17	706.934 ₺
%37,4	279.491	52	188	100.13	617.688 ₺

7.5 Önerilen RFID Destekli Bakım Yönetiminin Fizibilite Analizi

Çalışma kapsamında döküm fabrikasındaki bakım verilerinin otomatik olarak toplanması, analiz edilmesi ve elde edilen sonuçlara dayanılarak bakım politikaları geliştirilmesi için tesisin durumunu izlemeyi sağlayan bir bakım yönetim sistemi önerilmektedir.

Tesis için gerekli olan yatırımı bir Ar-Ge projesi niteliğinde ele alınmıştır. Önerilen sistemin altyapı analizi oluşturabilmek için sırasıyla; Kavram Geliştirme, Teknolojik/Teknik ve Ekonomik Yapılabilirlik Etüdü, Geliştirilen Kavramdan Tasarıma Geçiş Sürecinde Yer Alan Laboratuvar Çalışmaları v.b. Çalışmalar, Tasarım, Tasarım Geliştirme ve Doğrulama Çalışmaları, Prototip Üretimi, Pilot Tesisin Kurulması, Deneme Üretimi ve Tip Testlerinin Yapılması, Uygulama Sonrasında Ürün Tasarımından Kaynaklanan Sorunların Çözümü Faaliyetleri ele alınmalıdır.

Önerilen sistemin uygulanması ciddi bir iş gücü gerektirmesinin yanında parasal kaynak da gerektirmektedir. Gerekli olan bütçenin hesaplanması için;

- Personel maliyetleri
- Alet/Teçhizat/Yazılım alımları
- Ar-Ge ve test kuruluşlarına yaptırılacak işler
- Hizmet alım ve danışmanlık giderleri

dikkate alınarak gerekli bütçenin hesaplanması gerekmektedir. Proje için gerekli olan bütçe kalemleri çizelge 7.9 da belirtilmiştir:

Çizelge 7.9 : Önerilen bakım yönetimi sisteminin bütçesi.

Personel	Adam/Ay	Aylık Maliyet	Toplam
Endüstri Mühendisi (Sistem tasarımı)	1	3.500 ₺	42.000 ₺
Elektronik Mühendisi (Ara katman yazılımı)	1	3.500 ₺	42.000 ₺
Ara Toplam			84.000 ₺
Alet/Teçhizat/Yazılım/Yayın	Adet	Birim	Toplam

Bilgisayar	2	2500 ₺	5.000 ₺
Ağ Donanımı (Access point vb.)	-	-	3.000 ₺
RFID Etiket, Okuyucu ve Sensörler	-	-	20.000 ₺
Tablet PC	7	500 ₺	3.500 ₺
Bakım Yönetimi Yayınları	-	-	2.500 ₺
Motor Durum Takip (MCM) Cihazı	34	970 ₺	32.980 ₺
Ara Toplam			66.980 ₺
Ar-Ge ve test kuruluşlarına yaptırılacak işler	Süre	Birim	Toplam
Üniversite (Bakım Yönetimi Danışmanlığı)	12 ay	1.500 ₺	18.000 ₺
Üniversite (Laboratuvar Desteği)	12 ay	500 ₺	6.000 ₺
Ara Toplam			24.000 ₺
Hizmet Alımı & Danışmanlık Giderleri	Süre	Birim	Toplam
RFID Saha Analizi	3 ay	1.000 ₺	3.000 ₺
Yazılım Eğitimi (2 personel)	3 ay	1.500 ₺	9.000 ₺
Ara Toplam			12.000 ₺
GENEL TOPLAM			186.980 ₺

7.6 Yatırımın Monte Carlo Simülasyonu ile Analizi

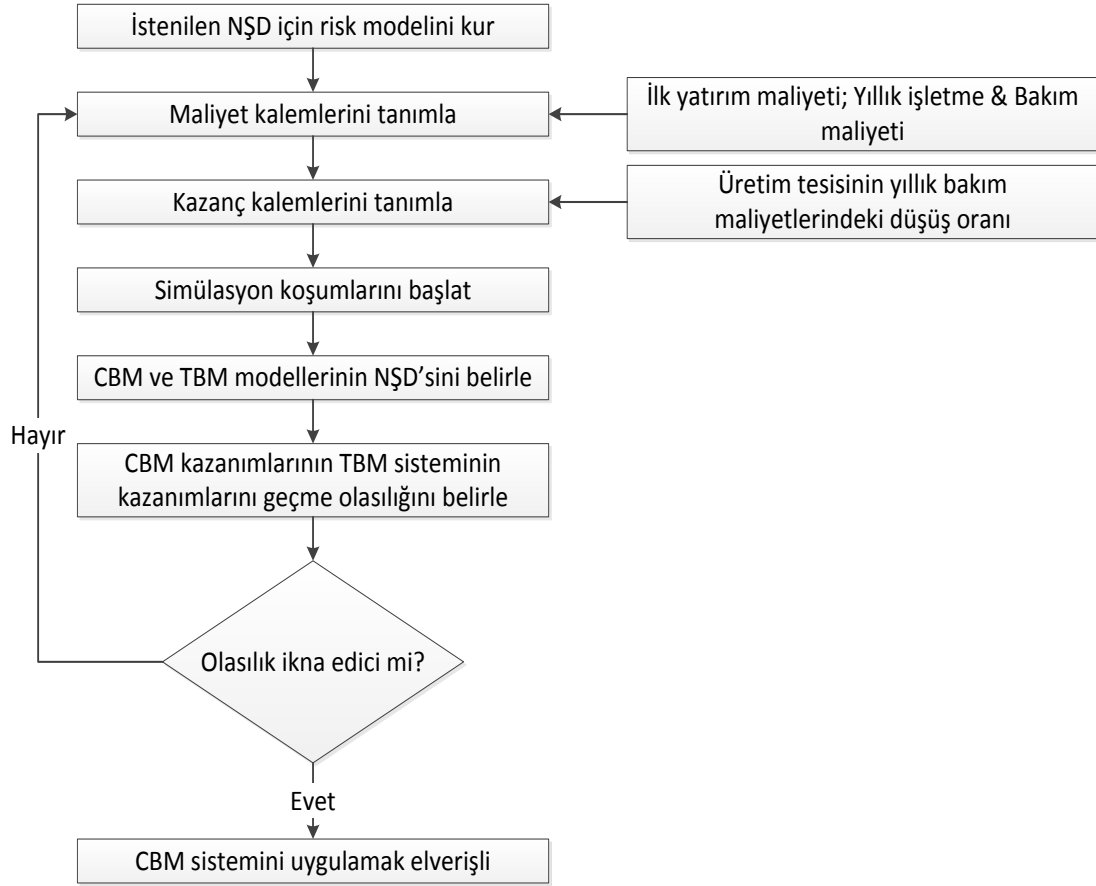
Belirsizlik altında karar verilmesi gereken durumlarda risk simülasyonu yapılmaktadır. Rassal değişkenlerin (belirsizliğin) var olması sebebiyle performans ölçütünün beklenen değerini ve varyansını analitik yöntemler ile bulmak çok güç olabilir. Bu gibi durumlarda bilgisayar ile simülasyon yapılması yararlı olur.

Risk simülasyonu kullanmanın sebepleri arasından; değişken sayısının çok fazla olması, değişkenler arasındaki ilişkilerin çok karmaşık olması, simülasyon sonuçlarına duyarlılık analizi yapılarak, hangi değişkene karşı performans ölçütünün daha duyarlı olduğu belirlenebilir. Bu hesapların rassallık göz önüne alınarak yapılması gerekir.

Bu çalışmada önerilen RFID destekli bakım yönetimi yatırımının NŞD'sini (Net Şimdiki Değer) hesaplamak için Monte Carlo Simülasyonu yapılmıştır. Bu amaçla @RISK paket programı kullanılmıştır.

7.6.1 Monte Carlo simülasyonu metodolojisi

Çalışmada tesiste uygulanması önerilen RFID destekli bakım yönetimi sisteminin olurluğunun test edilmesi için şekil 7.16’da görülen metodoloji uygulanmıştır.



7.6.2 Bir yıl için yatırım analizi

Birinci deneyde, gerçekleştirilen yatırımın bir yıllık çalışma periyodunda sırasıyla; üretim hattında %5, %10 ve %15 güvenilirlik artışı sağlandığında fizibil olma olasılığı araştırılmıştır.

Zaman esaslı bakım politikası uygulanması durumunda üretim hattında herhangi bir yatırım yapılmasına gerek duyulmamaktadır. Dolayısıyla bakım sisteminin herhangi bir sürdürülebilirlik maliyeti de yoktur.

Makine durumunu takip ederek gerçekleştirilecek bakım politikasında (CBM) ise ilk yatırım maliyeti bulunmakta olup, bir önceki bölümde hesaplandığı gibi 186.980

₺’dir. Ayrıca sistemin sürdürülebilirliğini sağlamak için personelin sistem üzerinde sürekli çalışması gerekmektedir. Ayrıca kullanılan donanımın durumunun takip edilmesi, gerekli parçaların (örn: RFID etiket) zaman içerisinde değiştirilmesi gerekmektedir. Bu faktörler göz önünde bulundurularak sistemin yıllık sürdürülebilirlik maliyeti şu şekilde hesaplanmıştır:

$$(42.000 + 42.000) \times 0,8 + 66.980 \times 0,2 = 80.596 \text{ ₺}$$

Sistemin geliştirilmesinde görev alacak olan bir adet endüstri mühendisi ve elektronik mühendisinin, sistemin devamlılığını sağlanması noktasında da aktif olarak görev almaları, sistem üzerinde geliştirmelere devam etmeleri gerekmektedir. Bu sebeple bu personellerin mesailerinin %80’ini CBM için ayırdıkları kabul edilmiştir. Bunun yanında sistemin donanım maliyeti olan 66.980 ₺’nin %20’lik kısmı kadar bir yıl süre ile donanım yenileme ve bakım maliyetlerinin olacağı kabul edilmiştir.

Çizelge 7.10 : %5 güvenilirlik artışı sağlandığında iki sistemin karşılaştırılması.

	TBM	CBM
İlk yatırım maliyeti	0 ₺	186.980 ₺
Sistemin sürdürülebilirlik maliyeti	0 ₺	80.596 ₺
Tesisin yıllık bakım maliyeti	899.983 ₺	761.173 ₺
Faydalı ömür	1 yıl	

7.6.3 Üç yıl için yatırım analizi

İkinci deneyde, gerçekleştirilen yatırımın üç yıllık çalışma periyodunda sırasıyla; üretim hattında %5, %10 ve %15 güvenilirlik artışı sağlandığında olurluluğu araştırılmıştır.

Çizelge 7.11 : %15 güvenilirlik artışı sağlandığında iki sistemin karşılaştırılması.

	TBM	CBM
İlk yatırım maliyeti	0 ₺	186.980 ₺
Sistemin sürdürülebilirlik maliyeti	0 ₺	80.596 ₺
Tesisin yıllık bakım maliyeti	899.983 ₺	617.688 ₺
Faydalı ömür	3 yıl	

7.6.4 Beş yıl için yatırım analizi

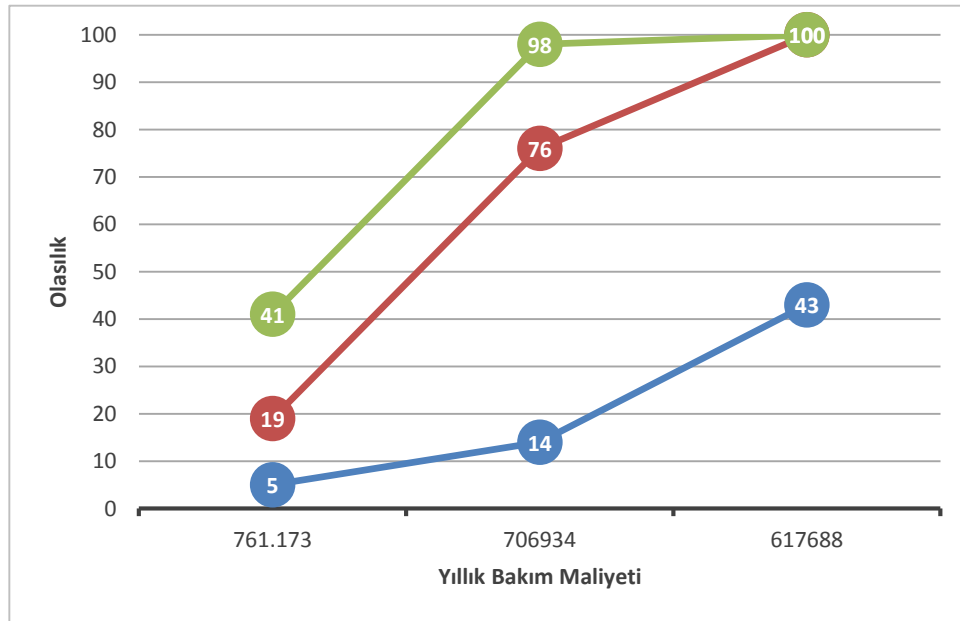
Üçüncü deneyde, gerçekleştirilen yatırımın beş yıllık çalışma periyodunda sırasıyla; üretim hattında %5, %10 ve %15 güvenilirlik artışı sağlandığında olurluluğu araştırılmıştır.

Çizelge 7.12 : %10 güvenilirlik artışı sağlandığında iki sistemin karşılaştırılması.

	TBM	CBM
İlk yatırım maliyeti	0 ₺	186.980 ₺
Sistemin sürdürülebilirlik maliyeti	0 ₺	80.596 ₺
Tesisin yıllık bakım maliyeti	899.983 ₺	706.934 ₺
Faydalı ömür	5 yıl	

7.6.5 Monte Carlo simülasyonu sonuçları

Geliştirilen senaryolar neticesinde her bir model 5000 defa koşulmuştur. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki önerilen Durum Takibi ile Bakım Yönetimi (CBM) sisteminin kullanımının ekonomik düzeyde olabilmesi için arıza oranlarında önemli düşüşler sağlaması gerekmektedir.



Şekil 7.19 : Monte Carlo simülasyonu sonuçları.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

RFID teknolojisi personel giriş kontrolünden, kütüphaneler için varlık takibine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada literatürde uygulamalarına çok ratslanmamış olan üretim tesisleri için bakım planlamasında kullanılması amacıyla bir RFID destekli bakım yönetimi sistemi önerilmiş ve olurluluğu araştırılmıştır.

Bakım yönetimi yaklaşımlarında ülkemizde en yaygın şekilde kullanılan zaman esaslı bakım yaklaşımı ile yapılan analizler ve modellemeler birçok varsayımda bulunmayı gerektirmektedir (ör: kuvvet eğrisi). Gerçek uygulamalarda bu varsayımlar gerçekçiliği düşürmektedir. Çalışma kapsamında ele alınan işletmede de zaman esaslı bakım kullanılmaktadır. Cihazlara ait verilerin izlenebilirliğini artırarak zaman esaslı bakım yaklaşımından, durum esaslı bakımı uygulanabileceği alternatif bakım politikaları geliştirilmiştir.

Geliştirilen ilk politikada haftalık gerçekleştirilen duruş süresi en düşük seviyeye çekilerek, geriye kalan önleyici bakım faaliyetlerinin cihazlar arızalandığında yapılması öngörülmüş ve bu politika “fırsatçı bakım politikası” olarak adlandırılmıştır. Bu bakım politikasının önerilmesinin bir diğer sebebi de siparişlerin yoğun olarak geldiği zamanlarda bakım için daha az zaman harcanarak güvenilirlik düzeyi daha yüksek bir hat elde etmektir. Önerilen bu politika arıza oranlarında %5, %10 ve %15 düşüş sağlaması durumları için test edilmiştir. İlave bakım personeline ihtiyaç duyulması sebebiyle bakım maliyetlerinde artış meydana gelmektedir. Bunun yanında düşen arıza oranları sebebi ile üretim miktarlarında artışların gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca arıza oranlarında %15 düşüş sağlanması durumunda bakım maliyetlerinin tesisteki mevcut bakım maliyetlerinin aşağısına indiği tespit edilmiştir.

Geliştirilen diğer bakım politikasında ise önerilen fırsatçı bakım politikasının, önerilen RFID ve sensör donanımlarının tesisteki cihazlara yerleştirilmesiyle elde edilebilecek olası sonuçları araştırılmıştır. Arena simülasyon programı üzerinde kurulan modelde RFID ilk yatırım maliyeti dikkate alınmamış olup güvenilirlikte

%5, %10 ve %15 artış sağlanması durumları değerlendirilmiştir. Belirtilen güvenilirlik seviyelerinde model koşulduğunda arıza sayılarında önemli düşüşlerin olduğu ve üretim çıktı oranlarında kısmi artışların yaşandığı tespit edilmiştir. Arıza sayılarında önemli düşüşlerin olması sebebiyle bakım maliyetlerinin de önemli oranda aşağı çekildiği görülmüştür.

Önerilen RFID destekli bakım yönetim sisteminin yatırım maliyeti ise Monte Carlo simülasyonu tekniği ile yatırım analizi yaparken ele alınmıştır. Personel, donanım, hizmet alımı & danışmanlık ve laboratuvar testleri dikkate alınarak çıkarılan toplam maliyet Arena simülasyonu ile elde edilen bakım maliyetlerinin üzerine eklenmiştir. Gerçek uygulamada yatırım maliyetlerinde meydana gelebilecek değişimler göz önünde bulundurularak değerlere belirli rassallıklar tanımlanmıştır. Bu sonuçlara göre sistemin 1, 3 ve 5 yıllık periyotlarda sırasıyla %5, %10 ve %15 güvenilirlik artışı sağlanması durumunda olurluluğu araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki %5 güvenilirlik artışının sağlanması durumunda yatırım makul değildir. %10 ve %15 güvenilirlik artışı sağlanması durumlarında ise 1 yıl içerisinde sistemin kendi maliyetini çıkarması düşük bir olasılık olarak dururken, 3 ve 5 yıllık periyotlarda yüksek ihtimalle sistem olurludur.

Durum esaslı bakım sistemleri işletmeler için önemli yatırımlar gerektirmektedir. Bu yatırımların uygulanabilir olması için işletmelerde önemli verimlilik artışları sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada önerilen RFID destekli bakım yönetimi sisteminin entegrasyonunun çok iyi bir şekilde sağlanması ve uygulamanın bilimsel kurallar çerçevesinde yapılması sistemin verimliliği açısından kritik derecede önemlidir.

Çalışma kapsamında ele alınan işletme bir döküm fabrikası olup metal ortamlarda RFID teknolojisinin kullanılmasından kaynaklanacak bazı sorunların olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında yatırım analizi yapılırken birçok maliyet kalemi için varsayımında bulunulmuştur. Uygulamalı araştırmalar ile varsayımlar azaltılarak daha gerçekçi sonuçlar elde etmek mümkündür. Ayrıca çalışma ortamlarındaki zorlu koşullar sebebiyle döküm fabrikaları için özel bakım yaklaşımları geliştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdul-Nour, G., Beaudoin, H., Ouelet, P., Rochette, R., Lambert, S.** (1998). A reliability based maintenance policy; a case study. *Computers Industrial Engineer*, Bölüm 35, 3-4, 591-594.
- Albino, V., Carella, C., Okogba, G. O.** (1992). Maintenance policies in just in time manufacturing lines. *International Journal of Production Research*, 30 (2), 369-382
- Altugher, G.** (2009). Multi criteria preventive maintenance scheduling through Arena based simulation modeling. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, Hoboken, NJ, A.B.D.
- Ascher, H. E., Kobbacy, K. A. H.** (1995). Modelling preventive maintenance for deteriorating reparable systems, *IMA Journal of Mathematics Applied in Business & Industry*, 6, 85-99.
- Başlıgil, H.** (2011). *Simülasyon Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Ben-Daya M, Duffuaa SO, Raouf A, Editors.** (2000). *Maintenance modelling and optimization*. Kluwer Academic Publishers. Boston, A.B.D.
- Bhuptani, M., Moradpour, S.** (2005). *RFID field guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems*. New Jersey: Sun Microsystems Press.
- Blanchard, B. S., Verm, D., Peterson, E. L.** (1995). *Maintainability: A key to effective and maintenance management*. New York, NY: John Wiley & Sons
- Cao, H. ve diğerleri,** (2009). RFID in product life cycle management: a case in the automotive industry. *Intertanional Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22 (7), 616-637.
- Çağlar, E.** (2009). Bakım Yönetim Teknikleri ve Otomasyon Sistemleri ile etkileşimleri. *Mühendis ve Makina*, Cilt:50, Sayı:598.
- Das, K., Lashkari R. S., Sengupta S.** (2007). Machine reliability and preventive maintenance planning for cellular manufacturing systems. *European Journal of Operational Research*, 183, 162-180.
- DiStefano, R., Conico, L.** (2006). *Enterprise reliability; Changing the game*. Orbit magazine. Bölüm: 26 Sayı:2. Nevada, A.B.D.
- Duffua, S. O., Ben-Daya, M., Al-Sultan, K. S., Andijani, A. A.** (2001). A generic conceptual simulation model for maintenance systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 7(3), 207-219.

- Ebeling, C. E.** (1997). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. Long Grove, Illionis: Wavelnd Press, Inc.
- Gerstbakh, I. B.** (1977). *Models of preventive maintenance*. New York-Oxford: North-Holland Publishing Company.
- Gitz, C. V.** (1984). *On the maintenance concept for a technical system*, (doktora tezi), Eindhoven Technische Hogeschool, Eindhoven
- Huang, G. Q., Zhang, Y. F., Jiang, P. Y.** (2008). RFID-based wireless manufacruing for real time management of job shop WIP inventories. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36 (7-8), 752-764.
- Jun, H.B., Kiritsis, D., Xirouchakis, P.** (2007). Research issues on closed-loop PLM. *Computers in Industry*. 58, 855-868.
- Jun, H.B. ve diğerleri.** (2009). A framework for RFID applications in product lifecycle management. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22 (7), 595-615.
- Kirazlılar, B.,** (2007). *Endüstriyel Bakım: Kestirimci ve Önleyici Bakımın Temelleri*. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye
- Kobbacy, K. A. H.** (1992). The use of knowledge based systems in evalution and enhancement of maintenance riutines. *International Journal of Production Economics*, 24, 243-248.
- Kobbacy, K. A. H.** (1995). Sensitivity analysis for preventive maintenance model, IMA, *Journal of Mathematics Applied in Business & Industry*, 6, 53-66.
- Kobbacy, K. A. H. ve diğ.** (2005). *Results of preventive maintenance survey*, unpublished report, Salford Universitesi
- Kobbacy, K. A. H. ve diğ.** (2007). AI and OR in management of operations: history and trends, *Journal of the Operational Research Society*, 58, 10-28.
- Lofsten, H.** (1999). Management of industrial maintenance – Economic evaluation of maintenance policies. *International Journal of Operation and Production Management*, 19 (7), 716-737.
- Morimura, H., Makabe, H.** (1963). A new policy of preventive maintenance. *Journal of the Operat Research Society of Japan*, 5, 110-124.
- Moubray, J. M.** (1991). *Reliability centred maintenance*. Butterworth-Heineman, Oxford
- Rosetti, M. D.** (2010). *Simulation Modelling and Arena*. John Wiley & Sons, Inc. Arkansas, A.B.D.
- Rosmaini, A., Shahrul, K.,** (2012). An overview of time-based and condition based maintenance in industrial application. *Computers and Industrial Engineering*, 63, 135-149.
- Savsar, M.** (2008). Modelling of multi-stage production lines with maintenance operations. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Bölüm 21 (4), 396-406.

- Savsar, M.** (2006). Effects of maintenance policies on the productivity of flexible manufacturing cells. *The International Journal of Management Science*, Omega, 34, 274-282.
- Savsar, M.** (2005). Performance analysis of an FMS operating under different failure rates and maintenance policies. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 16, 229-249.
- Saygın, C., Natarajan, B.** (2010). RFID-based baggage handling system design. *Sensor Review*, 30 (4), 324-335.
- Saygın, C., Tamma, S.** (2012). RFID-enabled shared resource management for aerospace maintenance operations: a dynamic resource allocation model. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25 (1), 100-111.
- Sippel, M.** (2010). *Choosing RFID for industrial applications: Balluf white paper*. Balluf Inc. Florence KY, A.B.D.
- Tanyaş, M., Baskak, M.** (2008). *Üretim planlama ve kontrol (3. Baskı)*. Sf. 128-133. İrfan Yayınevi, İstanbul, Türkiye
- Url-1** <kaynak: [http:// www.rfidsensorsystems.com/ products/ST050-1.pdf](http://www.rfidsensorsystems.com/products/ST050-1.pdf)>, alındığı tarih: 11.06.2013
- Üstündağ, A., Kılınç, M. S., Çevikcan, E.** (2010) Fuzzy rule based system for the economic analysis of RFID investments. *Expert systems with applications*, 37, 5300-5306.
- Valdez-Flores, C., Feldman, R. M.** (1989). A survey of preventive maintenance models for stochastically deteriorating single-unit systems. *Naval Research Logistics* 36, 419-446
- Wang, H.** (2002). A survey of maintenance policies of deteriorating systems. *European Journal of Operational Research*. Bell Laboratories, Lucent Technologies, Holmdel, A.B.D.
- Yücesan, E., Chen, C.-H., Snowdon, J. L., Charnes, J. M.** (2002). A simulation model for field service with condition based maintenance. *Winter Simulation Conference*, East Hartford, A.B.D.
- Zhang, Y. F. ve diğerleri.** (2010). Agent-based workflow management for RFID enabled real-time reconfigurable manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 23 (2), 101-112.
- Zhou, J., Shi, J.** (2009). Localisation of stationary objects using passive RFID technology. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22 (7), 717-726.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Alperen BAL

Doğum Yeri ve Tarihi: Konya – 09.01.1988

Adres: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Ali İhsan Aldoğan Yurdu – Maslak/İSTANBUL

E-Posta: alperenbal@live.com

Lisans: Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği