

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
İŞLETME PROGRAMI
DOKTORA TEZİ

ALTI SİGMA VE BAKIM UYGULAMALARININ
BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ: BİR SANAYİ KURULUŞUNDA
UYGULANMASI

Çağrı KELEŞ

Danışman
Prof. Dr. Onur ÖZVERİ

İZMİR-2018

YEMİN METNİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Altı Sigma ve Bakım Uygulamalarının Bütünleştirilmesi: Bir Sanayi Kuruluşunda Uygulanması” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

....../....../.....

Çağrı KELEŞ

ÖZET

Doktora Tezi

Altı Sigma ve Bakım Uygulamalarının Bütünleştirilmesi: Bir Sanayi

Kuruluşunda Uygulanması

Çağrı KELEŞ

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

İşletme Programı

Üretim yönetimine odaklanarak şirketlerin karlılığına etki eden iki yöntem olarak Altı Sigma ve Toplam Üretken Bakım felsefeleri, günümüzde bakım yönetiminin etkinliğini arttırarak şirketlerin karlılığına etki edebilmektedir. Altı Sigma, 80’li yıllarda Motorola şirketinde geliştirilmiş olan ve verileri kullanarak daha iyi çözümlere ulaşan bir kavramdır. TPM ise örgütün tüm seviyelerinden çalışanların aktif katılımıyla, verimlilik kayıplarını üretim sisteminin ömrü boyunca ortadan kaldırmayı hedefleyen bir kavramdır.

Bakım yönetimi, uzun yıllardır üretim şirketlerinin üzerinde durduğu bir kavramdır. Bakım yönetiminde Altı Sigma ve TPM uygulamalarının birlikte kullanılması literatürde çok karşılaşılan bir durum değildir. Bu felsefelerin birleştirilerek kullanılması sonucunda, sanayi şirketlerinin bakım uygulamalarında, daha az maliyetli ve daha az hata ortaya çıkaracak bir bakım sistemini kurmak mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada, Altı Sigma Bakım (SSM) felsefesinin Türkiye sanayisinde uygulanabilirliği incelenmiştir. Dünyada Altı Sigma Bakım uygulamalarıyla ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Türkiye’de ise SSM sisteminin uygulamasına hem literatürde hem de sanayide rastlanmamaktadır. Bu uygulama ile bakım yönetim süreçlerinde TPM uygulamalarının yanında, Altı Sigma felsefesinin de kullanılabileceğini göstermek hedeflenmiş ve gerçekleştirilen uygulama ile sektöre yol göstermek amaçlanmıştır. Ayrıca, geliştirilen modelinin performansını değerlendirmek üzere bir performans

ölçüm sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan performans ölçüm sistemi ile uygulanan bütünleşik sistemin, bakım yönetiminin etkinliğini gerçekten arttırıp arttırmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın sonucunda, bakım yönetimi için geliştirilen model, işletmenin bakım bölümünde önerildiği şekilde hayata geçirilmiş ve performans ölçümü gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen SSM modeli uygulaması ve bu modelin performans düzeyinin ölçümü neticesinde, işletmedeki bakım uygulamalarının sigma seviyesinin arttığı tespit edilmiştir. Bu artışın ise Alt Sigma ve TPM uygulamalarının ayrı ayrı etkileriyle değil, bu iki felsefenin birlikte yarattığı bütünleşik yapının etkisiyle ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakım, Altı Sigma, Toplam Üretken Bakım (TPM), Altı Sigma Bakım (SSM), Bakım Performans Göstergesi.

ABSTRACT
Doctoral Thesis
Doctor of Philosophy (PhD)
Integration of Six Sigma and Maintenance Applications: An Industrial
Implementation
Çağrı KELEŞ

Dokuz Eylül University
Graduate School of Social Sciences
Department of Business Administration
Business Administration Program

Six Sigma and Total Productive Maintenance philosophies as two ways to influence the profitability of companies by focusing on production management can now influence the profitability of companies by increasing the efficiency of maintenance management. Six Sigma is a concept developed in Motorola in the 80's that uses data to reach better solutions. TPM, on the other hand, is a concept that aims to lift productivity losses through the life of the production system, with the active participation of employees from all levels.

Maintenance management is a concept that production companies have been trying to address for many years. The combination of Six Sigma and TPM applications in maintenance management is not a very common occurrence in the literature. By combining these philosophies, it will be possible to establish a maintenance system that will result in less costly and less errors in the maintenance practices of industrial companies.

In this study, the feasibility of the Six Sigma Maintenance (SSM) philosophy in the Turkish industry has been examined. There are few studies on Six Sigma Maintenance practices in the world. In Turkey, the application of the SSM system is not found in both the literature and the industry. With this application, it is aimed to show that the Six Sigma philosophy can be used besides TPM applications in maintenance management processes and aimed to guide the sector with the implementation. In addition, a performance

measurement system was established to evaluate the performance of the developed model. It has been tried to determine whether the integrated system implemented with the created performance measurement system really increases the effectiveness of the maintenance management.

As a result of the study, the model developed for maintenance management was implemented as proposed in the maintenance section of the company and its performance measured. As a result of the implementation of the SSM model and the measurement of the performance level of this model, it has been determined that the sigma level of the maintenance applications in company has increased. It was determined that this increase was not due to the separate effects of the applications of the Six Sigma and the TPM but to the effect of the integrated structure created by these two philosophies.

Keywords: Maintenance, Six Sigma, Total Productive Maintenance (TPM), Six Sigma Maintenance (SSM), Maintenance Performance Indicator.

**ALTI SİGMA VE BAKIM UYGULAMALARININ BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ:
BİR SANAYİ KURULUŞUNDA UYGULANMASI
İÇİNDEKİLER**

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xii
TABLOLAR LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi
EKLER LİSTESİ	xviii

GİRİŞ	1
-------	---

**BİRİNCİ BÖLÜM
ALTI SİGMA**

1.1 ALTI SİGMA KAVRAMI	3
1.1.1 Altı Sigma'nın İstatistiksel Karşılığı	7
1.1.2 Ortalamadan 1,5 Sigma Kayma	9
1.1.3 Çok Aşamalı Süreçlerde Altı Sigma Verimi	13
1.2 ALTI SİGMA TARİHİ	15
1.3 ALTI SİGMA İYİLEŞTİRME MODELİ	16
1.3.1 Tanımlama Aşaması	17
1.3.2 Ölçme Aşaması	18
1.3.3 Analiz Aşaması	19
1.3.4 İyileştirme Aşaması	20
1.3.5 Kontrol Aşaması	20
1.4 ALTI SİGMA ORGANİZASYONU	21

1.4.1. Altı Sigma Organizasyonunda Roller ve Sorumluluklar	22
1.4.1.1 Şampiyonlar	22
1.4.1.2 Uzman Kara Kuşaklar	23
1.4.1.3 Kara Kuşaklar	23
1.4.1.4 Yeşil Kuşaklar	25
1.5. ALTI SİGMA UYGULAMALARINDA KULLANILAN ARAÇLAR	28
1.5.1 Beyin Fırtınası	28
1.5.2 İşaret Çizelgesi	29
1.5.3. Sebep Sonuç Diyagramı	30
1.5.4 Pareto Diyagramı (Analizi)	31
1.5.5 Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)	33
1.5.6. İstatistiksel Süreç Kontrolü	35
1.5.6.1 Kontrol Şemaları	36
1.5.6.1.1 Değişkenler için Kontrol Şemaları	37
1.5.6.1.2 Özellikler için Kontrol Şemaları	38
1.5.7 Ölçüm Sistemi Analizi	40
1.5.8 Serpilme Diyagramı	44
1.5.9 Histogram	45
1.5.10 Süreç Yeterlilik İndeksleri	47
1.5.10.1 Süreç Potansiyel İndeksi Cp	47
1.5.10.2 Süreç Performans İndeksi Cpk	48
1.5.10.3 Cpm İndeksi	50
1.5.11 Akış Diyagramı	51
1.5.12 SIPOC Diyagramı	53
1.5.13 Kalite Fonksiyon Göçerimi	54
1.5.14 Yakınlık Diyagramı	56
1.5.15 İlişkiler Diyagramı	57
1.5.16 Ağaç Diyagramı	59

İKİNCİ BÖLÜM

TOPLAM ÜRETKEN BAKIM (TPM)

2.1 TOPLAM ÜRETKEN BAKIM KAVRAMI	64
2.1.1 TPM Önündeki Engeller	69
2.1.2 TPM Uygulama Esasları	71
2.1.3. TPM'in Faydaları	73
2.2 TOPLAM ÜRETKEN BAKIMIN TARİHİ	77
2.3 TOPLAM ÜRETKEN BAKIMIN 16 BÜYÜK KAYBI	78
2.3.1 Ekipman Verimliliğini Etkileyen 8 Büyük Kayıp	78
2.3.2 Çalışan Verimliliğini Etkileyen 5 Büyük Kayıp	79
2.3.3 Üretim Kaynaklarının Kullanımına İlişkin 3 Büyük Kayıp	80
2.4 TOPLAM ÜRETKEN BAKIM YÖNETİMİNDE EKİPMAN ETKİNLİĞİ	82
2.5 TOPLAM ÜRETKEN BAKIM ORGANİZASYONU	84
2.5.1 TPM Yürütme Kurulu	85
2.5.2 TPM Ofis	85
2.5.3 TPM Komiteleri	85
2.5.3.1 Otonom Bakım Komitesi	86
2.5.3.2 Odaklanmış İyileştirme Komitesi (Kobetsu Kaizen)	90
2.5.3.3 Planlı Bakım Komitesi	92
2.5.3.4 Kalite Bakım Komitesi	95
2.5.3.5 Eğitim Komitesi	96
2.5.3.6 Erken Yönetim Komitesi	97
2.5.3.7 Ofis TPM Komitesi	97
2.5.3.8 Sağlık, Emniyet ve Çevre Komitesi	98

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ALTI SİGMA BAKIM

3.1 ALTI SİGMA BAKIM KAVRAMI	99
3.2 ALTI SİGMA BAKIM MODELİ GELİŞTİRİLMESİ	109
3.2.1. Altı Sigma Bakım Performansının Belirlenmesi	111

3.2.1.1 Mevcut SSM Performans Ölçümleri	111
3.2.1.2 SSM Sistemler için Performans Göstergesi Geliştirilmesi	113

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ALTI SİGMA VE BAKIM UYGULAMALARININ BÜTÜNLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK UYGULAMA

4.1 FİRMANIN TANITILMASI	117
4.1.1 Firmada Gerçekleştirilen TPM Uygulamaları	121
4.2 YÖNTEM	132
4.2.1 Uygulamanın Amacı	132
4.2.2 Uygulamanın Önemi	132
4.3 UYGULAMA ADIMLARI	132
4.3.1 SSM Modelinin Firmada Uygulanması	133
4.3.2 SSM Modelinin Performansının Ölçülmesi	147
SONUÇ VE ÖNERİLER	152
KAYNAKÇA	156
EKLER	

KISALTMALAR

AKL	Alt Kontrol Limiti
ASL	Alt Spesifikasyon Limiti
CTQ	Kritik Kalite Değişkeni (Critical to Quality)
DMAIC	Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol (Define, Measure, Analysis, Improve, Control)
DPMO	Milyon Fırsat Başına Kusur (Defect per Million Opportunity)
FMEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi (Fault Modes and Effects Analysis)
GE	General Electric
JIPM	Japon Fabrika Bakım Enstitüsü (Japan Institute of Plant Maintenance)
KB	Kalite Bakım
KBB	Koşul Bazlı Bakım
MAIC	Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol (Measure, Analysis, Improve, Control)
MTBF	Arızalar Arası Ortalama Süre (Mean Time Between Failures)
MTTR	Ortalama Arıza Giderme Süresi (Mean Time to Repair)
OB	Otonom Bakım
OÇ	Orta Çizgi
OEE	Toplam Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness)
Oİ	Odaklanmış İyileştirme
PB	Planlı Bakım
PdM	Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance)
PM	Önleyici Bakım (Preventive Maintenance)
QA	Kalite Güvence (Quality Assurance)
QFD	Kalite Fonksiyon Göçerimi (Quality Function Deployment)
QM	Kalite Bakım (Quality Maintenance)
RPN	Risk Öncelik Değeri (Risk Priority Number)
SEÇ	Sağlık Emniyet Çevre
SIPOC	Tedarikçi, Girdi, Süreç, Çıktı, Müşteri (Supplier, Income, Process, Outcome, Customer)
SPC	İstatistiksel Süreç Kontrolü (Statistical Process Control)

SSM	Altı Sigma Bakım (Six Sigma Maintenance)
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
TPM	Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance)
ÜKL	Üst Kontrol Limiti
ÜSL	Üst Spesifikasyon Limiti
WCMP	Dünya Klasında Bakım Süreci (World Class Maintenance Process)
ZBB	Zaman Bazlı Bakım



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1: Altı Sigma Temel Aşamaları	s. 3
Tablo 2: Fast Food Dağıtım Süreci	s. 5
Tablo 3: Altı Sigma Performans Seviyeleri Tablosu	s. 6
Tablo 4: Hata Oranlarının Gerçek Hayat Karşılaştırması	s. 7
Tablo 5: Ortalama Merkezde İken Sigma Seviyeleri	s. 8
Tablo 6: Kayma Miktarı ile Sigma Seviyesi ve DPMO İlişkisi	s. 13
Tablo 7: Çok Aşamalı Süreçlerde Verim Karşılaştırması	s. 14
Tablo 8: Çeşitli Sigma Seviyelerinde Aşama Sayısına Göre Verim (1,5 σ Kaydırılmış Dağılım)	s. 14
Tablo 9: DMAIC Modeli Aşamaları	s. 17
Tablo 10: Altı Sigma Organizasyonunda Roller ve Sorumluluklar	s. 25
Tablo 11: FMEA Şiddet, Olasılık, Saptanabilme Dereceleri Kılavuzu	s. 34
Tablo 12: X ve R Kontrol Şemaları için Kontrol Limitleri	s. 38
Tablo 13: p ve np Kontrol Şemaları için Kontrol Limitleri	s. 39
Tablo 14: c ve u Kontrol Şemaları için Kontrol Limitleri	s. 40
Tablo 15: Ölçüm Sistemleri Analizi Veri Formu	s. 42
Tablo 16: TKY Hataları ve Altı Sigma Çözümleri	s. 61
Tablo 17: TPM'in Gelecek Vizyonu	s. 69
Tablo 18: TPM'in Başarısız Olmasına Sebep Olacak Ana Faktörler	s. 70
Tablo 19: 12 Adım TPM Geliştirme Programı	s. 71
Tablo 20: TPM ile Beraber Şirket Genelindeki Gerekli Rol Değişimleri	s. 74
Tablo 21: Üretim Öncelikleri ve TPM'in Sağlayacağı Katkılar	s. 75
Tablo 22: Üretim Performansını Etkileyen 16 Büyük Kayıp	s. 81
Tablo 23: TPM Komiteleri ve Görevleri	s. 85
Tablo 24: Otonom Bakım Uygulaması ile Operatörlerdeki Değişim	s. 88
Tablo 25: Otonom Bakım Adımları	s. 89
Tablo 26: Kobetsu Kaizen Uygulama Adımları	s. 91
Tablo 27: Planlı Bakımın 7 Aşaması	s. 94
Tablo 28: Operatör ve Bakım Personeli için İhtiyaç Duyulan Yetenekler	s. 96
Tablo 29: Bakım Seviyeleri ve Aktiviteleri	s. 100

Tablo 30: Altı Sigma ve TPM'in Birbirini Destekleme Yapısı	s. 103
Tablo 31: TPM Aşamaları ve DMAIC Süreci	s. 105
Tablo 32: Kayıp Maliyet Matrisi	s. 122
Tablo 33: Planlı Bakım İş Adımları (Mekanik Bakım)	s. 140
Tablo 34: Planlı Bakım İş Adımları (Elektrik Bakım)	s. 140
Tablo 35: Planlı Bakımın 7 Adımının Uygulanması	s. 145
Tablo 36: W Hattı 2013 Yılı Verileri ve Hesaplama Sonuçları	s. 148
Tablo 37: W Hattı 2014 Yılı Verileri ve Hesaplama Sonuçları	s. 149
Tablo 38: W Hattı 2015 Yılı Verileri ve Hesaplama Sonuçları	s. 150



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Normal Dağılıma göre 3σ Süreç Dağılımı	s. 8
Şekil 2: Ortalama Merkezde İken 3σ ve 6σ Süreç Dağılımı	s. 9
Şekil 3: Ortalamanın $1,5\sigma$ Kayması Durumunda 3σ ve 6σ Süreç Dağılımı	s. 10
Şekil 4: Dağıtım Süreci Örneği Süreç Dağılımı Grafikleri	s. 12
Şekil 5: Kara Kuşak Başarı Faktörleri ve Önem Dereceleri	s. 24
Şekil 6: İşaret Çizelgesi (Hata Sayısı)	s. 29
Şekil 7: Sebep Sonuç Diyagramı	s. 31
Şekil 8: Pareto Diyagramı	s. 32
Şekil 9: Yeniden Üretilebilirlik	s. 41
Şekil 10: Yinelenebilirlik	s. 41
Şekil 11: Serpilme Diyagramı Temel İlişkiler	s. 45
Şekil 12: Histogram Örneği	s. 46
Şekil 13: Çeşitli Süreç Yayılımları için C_p İndeksleri	s. 48
Şekil 14: Farklı Süreç Ortalamalarıyla C_p ve C_{pk} İndekslerinin Karşılaştırılması	s. 49
Şekil 15: Farklı Süreç Ortalamaları ve Yayılımlarıyla C_p , C_{pk} ve C_{pm} İndekslerinin Karşılaştırılması	s. 51
Şekil 16: Akış Diyagramı Örneği	s. 52
Şekil 17: SIPOC Diyagramı Örneği	s. 53
Şekil 18: Kalite Evi	s. 55
Şekil 19: İnternet Kafe İşletmesi için Kalite Evi	s. 56
Şekil 20: Yakınlık Diyagramı Örneği	s. 57
Şekil 21: İlişkiler Diyagramı Örneği	s. 58
Şekil 22: Ağaç Diyagramı	s. 60
Şekil 23: Bakım Yönetiminin Japonya'daki Gelişimi	s. 66
Şekil 24: JIPM Tarafından Önerilen 8 Sütun	s. 67
Şekil 25: OEE Yapısı	s. 83
Şekil 26: Odaklanmış İyileştirme Komitesinin Diğer Komitelerle İlişkisi	s. 90
Şekil 27: Planlı Bakımın Uygulama Politikası	s. 92
Şekil 28: Sıfır Arıza için Karşı Önlemler ve TPM Sütunları ile İlişkisi	s. 95

Şekil 29: Bütünleştirilmiş SSM Modeli	s. 101
Şekil 30: Bakım Süreçleri için DMAIC Modeli	s. 104
Şekil 31: TPM ve Altı Sigma Bütünleşik Yapısı	s. 107
Şekil 32: Planlı Bakım Uygulamaları ve Altı Sigma Bütünleşik Modeli (SSM Modeli)	s. 110
Şekil 33: Geliştirilen Performans Göstergesi Ana Yapısı	s. 114
Şekil 34: İkinci İndeks Şeması	s. 115
Şekil 35: Fabrika Krokisi	s. 118
Şekil 36: TPM Organizasyon Şeması	s. 119
Şekil 37: Fabrika Organizasyon Şeması	s. 120
Şekil 39: Otonom Bakım Adım Sistematiği	s. 124
Şekil 40: Planlı Bakım Uygulama Politikası	s. 125
Şekil 41: QA Matrisi Örneği	s. 126
Şekil 42: QM Matrisi Örneği	s. 127
Şekil 43: Beceri Matrisi Örneği	s. 129
Şekil 44: Bilgi Arşivi Örneği	s. 130
Şekil 45: 5S Sütun Yapısı	s. 131
Şekil 46: İşletmede Uygulanan SSM Modeli	s. 134
Şekil 47: Kritiklik Analizi Formu	s. 135
Şekil 48: Önem Derecelerine Göre Ekipman Dağılımı	s. 136
Şekil 49: Planlı Bakım Ana Programı	s. 137
Şekil 50: Bakım Bölümü Organizasyon Şeması	s. 139
Şekil 51: Kök Neden Analizi Formu	s. 143
Şekil 1: Kaizen/Altı Sigma Takımlarının Yapısı	s.144
Şekil 53: Arıza Süresi (X) ile Planlı Bakım ve İyileştirme Süresi (Y) İlişkisi	s. 155

EKLER LİSTESİ

Ek 1: Kontrol Şeması Sabit Değerler	ek s. 1
Ek 1: DPMO-Sigma Seviyesi Dönüşüm Tablosu	ek s. 2



GİRİŞ

Artan rekabet koşullarıyla beraber karlılık oranları küçülmekte ve şirketler azalan kar oranlarına uygun olan üretim maliyetlerini yakalamak durumundadırlar. Aksi takdirde, şirketler yüksek üretim maliyetleri sebebiyle sipariş kaybetmekte ve yavaş yavaş bir çıkmaza girmektedirler. Üretim yönetimine odaklanarak şirketlerin karlılığını artıran, geçmişten günümüze pek çok yöntem ortaya atılmış ve kullanılmıştır. Bu yöntemlerden en etkili olduğu kabul edilen ve halen yaygın olarak kullanılmakta olan iki tanesi Toplam Üretken Bakım ve Altı Sigma felsefeleridir.

Altı Sigma, 80'li yıllarda Motorola şirketinde geliştirilmiş bir kavramdır. Japonya'nın artan rekabet gücüne karşı, kalite seviyesini artırma çabalarının sonucu olarak ortaya çıkmıştır. TPM ise temelleri bakım yönetimine dayanan ve ekipman etkinliğine tesir eden tüm kayıpları sıfırlamayı hedefleyen bir kavramdır. Şirketteki herkesin katılımını gerektiren bir yapı ortaya koyan TPM kavramı, ilk kez 1971 yılında Japon firması Nippon Denso'da kullanılmıştır. Altı Sigma için yapılan tanımlardan birinde “rakiplerden daha iyi, daha hızlı ve daha ucuz ürünler ve hizmetler elde etmek” ifadesine yer verilmiştir (Breyfogle III, 1999: 5). TPM için ise “verimlilik kayıplarını üretim sisteminin ömrü boyunca ortadan kaldırarak üretim verimliliğini optimize etmeyi amaçlar” şeklinde bir ifadeye yer verilmiştir (Ahuja ve Khamba, 2008: 718). Bu ifadelerden Altı Sigma ve TPM faaliyetlerinin karlılığa doğrudan etki edeceği açıkça anlaşılmaktadır.

Son yıllarda yine şirket karlılığını arttırmak için bakım yönetimine verilen önem bir hayli artmıştır. Bakım yönetiminin şirketlerin karlılığına doğrudan etki ettiği kabulüyle beraber (Al-Sultan ve Duffuaa, 1995; Kutucuoglu, 2001; Parida ve Chattopadhyay, 2007) bakım yönetiminde bu felsefelerin kullanılması olumlu sonuçlar vermiştir. Sadece Altı Sigma felsefesinin bakım yönetimi ile bütünleştirilmesi ile gerçekleştirilen pek çok çalışmada (Thomas ve diğerleri, 2008; Al-Mishari and Suliman, 2008; Holtz and Chambell 2003; Sharma and Sharma, 2014; Jin ve diğerleri, 2011; Milosavljevic and Rall, 2005; Wang ve diğerleri, 2012; Inozu and Radovic, 2002) verimli sonuçlar elde edilmiştir. TPM felsefesi ise şirketlerde öncelikle bakım yönetiminden yola çıkarak karlılığa etki etmeyi hedefleyen bir sistemdir (Nakajima, 1988).

Altı Sigma ve TPM uygulamalarının birlikte kullanılması literatürde çok karşılaşılan bir durum değildir. Bu felsefelerin birleştirilerek kullanılması sonucunda, sanayi şirketlerinde bakım uygulamalarında daha az maliyetli ve daha az hata ortaya çıkaracak bir bakım sistemini kurmak mümkün olabilecektir. Altı Sigma ve bakım uygulamalarının bütünleştirilmesi çalışmasıyla bu birlikteliğin bakım bölümünde nasıl gerçekleşebileceği ve elde edilecek sonuçlar değerlendirilebilecektir. Bu uygulama ile bakım süreçlerinde TPM uygulamalarının yanında, Altı Sigma felsefesinin de kullanılabileceğini göstermek hedeflenmektedir. Bunun yanı sıra oluşturulan sistemin performansını değerlendirmek üzere bir performans ölçüm sistemi geliştirilerek, uygulanan bütünleşik sistemin bakım yönetiminin etkinliğini gerçekten arttırıp arttırmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada, bütünleştirilmiş Altı Sigma Bakım felsefesi tüketici elektroniği sektöründe faaliyet gösteren bir imalat işletmesinde uygulanmış ve performans seviyesi ölçülerek uygulanan felsefenin etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İlk üç bölümde literatür incelemesine yer verilirken dördüncü bölümde gerçekleştirilen uygulama aktarılmıştır.

Birinci bölümde, Altı Sigma kavramı, tarihsel gelişim süreci, organizasyon yapısı açıklandıktan sonra Altı Sigma uygulamalarında kullanılan araçlar ve Altı Sigma'nın TKY ile ilişkisi verilmiştir. İkinci bölümde, TPM ile ilgili kavramlar ve TPM'in tarihsel gelişim süreci açıklanmış ve TPM'in 16 büyük kaybından bahsedilmiştir. Ardından OEE kavramı açıklanıp TPM organizasyonundan detaylı olarak bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, Altı Sigma Bakım kavramı detaylı olarak verilmiştir. Ardından Altı Sigma Bakım modelinin geliştirilme aşamalarından ve modelin performansının ölçümü için geliştirilen performans göstergesinin oluşturulma aşamalarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ise imalat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilen SSM uygulamasının ve uygulanan sistemin performans ölçümünün detayları verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

ALTI SİGMA

Birinci bölümde, Altı Sigma kavramı tanıtılmış, Altı Sigma tarihi, Altı Sigma iyileştirme modeli ve Altı Sigma organizasyonu hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra Altı Sigma uygulamasında kullanılan araçlar detaylı olarak incelenmiş ve son olarak Altı Sigma ile Toplam Kalite Yönetimi ilişkisi verilmiştir.

1.1 ALTI SİGMA KAVRAMI

Altı Sigma, iş yerinde başarıyı yakalamak, sürdürmek ve en üst düzeye ulaştırmak için kapsamlı ve esnek bir sistemdir (Pande ve diğerleri, 2004: 13). Müşteri beklentilerinden doğan, verilerin istatistiksel olarak işlenmesine dayanan, süreç iyileştirme faaliyetleriyle desteklenen bir yönetim sistemidir. Altı Sigma'nın şirketlerde uygulanmasında DMAIC adı verilen bir iyileştirme modelinden yararlanılır. Bu model, tablo 1'de görüldüğü üzere; Tanımlama (Define), Ölçme (Measure), Analiz (Analysis), İyileştirme (Improve) ve Kontrol (Control) aşamalarından oluşur. Aşama isimlerinin İngilizce baş harfleriyle kısaca DMAIC olarak adlandırılır.

Tablo 1: Altı Sigma Temel Aşamaları

D	Tanımlama	Problem tanımlanır, iyileştirme çalışmasının hedefleri belirlenir
M	Ölçme	Veriler toplanır, mevcut süreç ölçülür
A	Analiz	Arzu edilen hedefe ulaşmak için yapılacak işleri belirlemek üzere süreç analiz edilir
I	İyileştirme	Süreç iyileştirilir
C	Kontrol	Yeni süreç kontrol edilir

Kaynak: Pyzdek, 2003: 4; Gürsakal ve Oğuzlar, 2003: 51.

Altı Sigma'nın farklı kaynaklarda çeşitli tanımları vardır. Pyzdek (2003: 6)'e göre, "Altı Sigma, müşterilere ve şirkete en büyük değeri sunabilmek için çalışanlara olanak sağlayan yönetim sistemlerinin ve iş süreçlerinin, tasarımı ve yürütülmesi için bilimsel yöntemlerin uygulanmasıdır." Pande ve Holpp (2002: 2)'a göre, Altı Sigma, müşteriye birinci sıraya alan, gerçekleri ve verileri kullanarak daha iyi çözümlere ulaşan, işletme yönetiminin akıllıca bir yöntemidir. Schroeder (2000: 2) Altı Sigma'yı, "Süreç iyileştirme ve yeni ürün geliştirme süreçleri için organize edilmiş sistematik bir yöntem ve müşteri tarafından belirlenen kusur oranlarında önemli iyileştirmeler gerçekleştirmeyi hedefleyen, istatistiksel yöntemleri ve bilimsel metotları kullanan bir metodoloji" olarak tanımlamıştır.

Breyfogle III (1999: 5)'ye göre; Altı Sigma stratejisi, rakiplerden daha iyi, daha hızlı ve daha ucuz ürünler ve hizmetler elde etmek üzere ihtiyaç duyulan bilginin kazanılması için biçimselleştirilmiş bir yöntem ile istatistiksel araçların kullanımını kapsar. Baş (2003: 17), Altı Sigma'yı; "organizasyonunun temel süreçlerini, müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde, değerlendirmek ve iyileştirmek için, şimdi ve gelecekte, tüm çalışanların bilgilerinin ve kantitatif metotların etkin olarak kullanılmasıdır" şeklinde tanımlamıştır. Caulcutt (2001: 302)'in tanımına göre; Altı Sigma, ölçülebilir finansal sonuçlara odaklanarak, israfı azaltmak, müşteri tatminini arttırmak ve süreçleri geliştirmek için kullanılan bilgi temelli bir yöntemdir. Yine Caulcutt (2001: 305)'in çalışmasında Altı Sigma'yı en iyi tanımlayan sekiz özellik şöyle verilmiştir:

- 1-Süreçlere odaklanma ve böylece müşteriye odaklanma
- 2-Tüm seviyelerde süreç performansına ilgi ve süreç yeterliliğinin süreç genelinde ölçülmesi
- 3-Kara kuşaklar, uzman kara kuşaklar ve yeşil kuşaklar
- 4-Hataların azalmasına ve/veya değişkenliğin azalmasına odaklanan kara kuşak projeleri
- 5-Gerçeklerle yönetim
- 6-İşletme hedefleriyle ilişkili kara kuşak projeleri
- 7-Açık vizyona, değerlere ve amaçlara sahip üst yönetim
- 8-Tüm sahaya ve müşteri iletişim noktalarına ulaşmış üst yönetim amaçları

Sembol olarak “ σ ” Yunan alfabesinin bir harfidir ve standart sapmayı ifade eder. Standart sapma, bir veri grubunda veya bir süreçte ne kadar değişkenlik olduğunu belirlemenin istatistiksel yoludur (Pande ve Holpp, 2002: 6). Sigma, istatistiksel bir dağılımda, tüm verilerin ortalama değerden nasıl saptığını gösteren bir değişkenlik ölçüsüdür (Öztürk, 2009: 452). İşletmelerde, tedarikçilerden, girdilerden veya çevre etkilerinden kaynaklanan değişkenlik süreçlerde kusurlara neden olmaktadır. Kuruluşlar çoğunlukla çalışmalarını “ortalama” terimiyle ölçerler ve tanımlarlar: Ortalama maliyet, ortalama çevrim zamanı, ortalama arıza sayısı vb. Fakat aslında ortalamalar, değişkenliği gizleyerek, sorunların görülmesine engel olur (Pande ve diğerleri, 2004: 54). Teslim süresinin 30 dakika olduğu bir fast food dağıtım sürecini düşünelim. Bir vardiyada yaptığımız 20 adet dağıtımın teslim süreleri tablo 2’deki gibidir. Örneğe göre vardiyanın dağıtım süresi ortalaması tam 30 dakikadır. Ancak dağıtım sürelerinin değişkenliği bir hayli yüksektir. 30 dakikanın üzerinde gerçekleşen birçok teslimat olmuştur. Müşterilerimizin aklında bu teslimatlar kalacaktır.

Tablo 2: Fast Food Dağıtım Süreci

15	33	28	22	45	31	20	50	39	29	17	35	32	26	18	27	37	42	20	34
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Görüldüğü gibi değişkenlik pek çok problemin kaynağıdır ve çözümler için yol gösterir. Verileri kullanarak, değişkenliği sayısal hale getirebilir ve iyileştirme yaklaşımları geliştirebiliriz (Snee, 2000: 70).

Altı Sigma, değişkenliği kontrol altına alarak kusurları azaltmayı hedefleyen bir yöntemdir. Bu işlevini yerine getirirken farklı süreçlerin birbirleriyle kıyaslanmasına da imkan sağlamaktadır. Sigma seviyesi olarak adlandırılan kavram ile süreçlerin performansı belirlenir ve kıyaslanır. Sigma seviyesi ise milyon fırsat başına kusur (DPMO) kavramı ile ölçülür. Altı Sigma felsefesinde, milyonda 3,4 adet kusur hedeflenir. Bu hedef ancak 6σ seviyesinde mümkün olabilir. DPMO hesabı aşağıdaki formül ile yapılır.

$$\frac{\text{Kusur sayısı}}{\text{Birim başına kusur için fırsat sayısı} \times \text{Birim sayısı}} \times 1.000.000 \dots \dots \dots (1.1)$$

Örneğin, bir imalat firmasının ürettiği ürünün iki adet kritik kalite değişkeni (CTQ) olsun. Bu iki değişkenden birinin toleranslar dışında olması parçanın kusurlu olması anlamında gelmektedir. Müşterilerden biri için üretilen 10.000 adet üründe 124 adet kusura rastlandığında DPMO, formül (1.1)'den yararlanılarak şöyle hesaplanır;

$$\frac{124}{2 \times 10.000} \times 1.000.000 = 6.200$$

Altı Sigma performans seviyeleri için dönüşüm değerleri tablo 3'de verilmiştir. Yukarıdaki örnekte hesaplanan DPMO değerine göre süreç 4σ seviyesindedir. Verilerin ortalamadan ±4 standart sapma ile dağıldığı bu seviyede, süreç verimi %99,4, milyon fırsat başına hata ise 6.210 adettir. Verilerin ortalamadan ±5 standart sapma ile dağıldığı 5σ seviyesinde, süreç verimi %99,98, milyon fırsat başına hata ise 233 adettir. Verilerin ortalamadan ±6 standart sapma ile dağıldığı 6σ seviyesinde, süreç verimi %99,99966, milyon fırsat başına hata ise 3,4 adettir.

Tablo 3: Altı Sigma Performans Seviyeleri Tablosu

Sigma Seviyesi	Verim (%)	Milyon Fırsat Başına Hata
1	31,00	691.462
2	69,00	308.538
3	93,30	66.810
4	99,40	6.210
5	99,98	233
6	99,99966	3,4

Bir Altı Sigma metriği olan DPMO ile kusurlar geleneksel yöntemlerde olduğu gibi yüzde olarak değil, milyon fırsatta hata olarak gösterilmektedirler.

Geçmişte, yüzde değerleri tolere edilebilmekteydi ancak günümüzde tolere edilememektedir. %99'luk bir kalite seviyesi ($3,8\sigma$) kulağa hoş gelebiliyor fakat bu seviye, milyonda 10.600 adet hata oluşması anlamına gelmektedir. Bu durumda, ayda 1.000.000 adet çağrı alan bir çağrı merkezini işletiyorsak, her ay 10.600 adet mutsuz müşteriye sahip olacağız (Pande ve Holpp, 2002: 9). %99 kalite düzeyi ile %99,99966 kalite düzeyi arasındaki fark tablo 4'de görülmektedir. Geleneksel olarak 3 ya da 4 sigma seviyesini yeterli bulan şirketlerin aslında ne kadar önemli değerleri kaçırdıkları bu tabloda görülmektedir. Kaçırılan değerlerin maddi karşılığı olarak, bu şirketler (3-4 sigma), gelirlerinin %25 ila 40'ını problemleri çözmeye harcarlar. Bu durum kalitenin maliyeti olarak veya daha uygun bir ifade ile düşük kalitenin maliyeti olarak bilinir. Altı Sigma seviyesinde yürütülen şirketler, gelirlerinin %5'inden azını problemleri çözmeye harcarlar (Pyzdek, 2003: 5).

Tablo 4: Hata Oranlarının Gerçek Hayat Karşılaştırması

%99 ($3,8\sigma$)	%99,99966 (6σ)
Yılda 200.000 hatalı reçetenin yazılması	Yılda 680 hatalı reçetenin yazılması
Haftada 5.000 hatalı ameliyatın yapılması	Haftada 88 hatalı ameliyatın yapılması
Yılda 15.000'den fazla yeni doğan bebeğin kaza ile düşmesi	Yılda 5 yeni doğan bebeğin kaza ile düşmesi
Büyük havaalanlarına her gün 2 hatalı inişin yapılması	Her 8 saatte 1 kez hatalı inişin yapılması
Saatte 20.000 mektubun kaybolması	Saatte 7 mektubun kaybolması

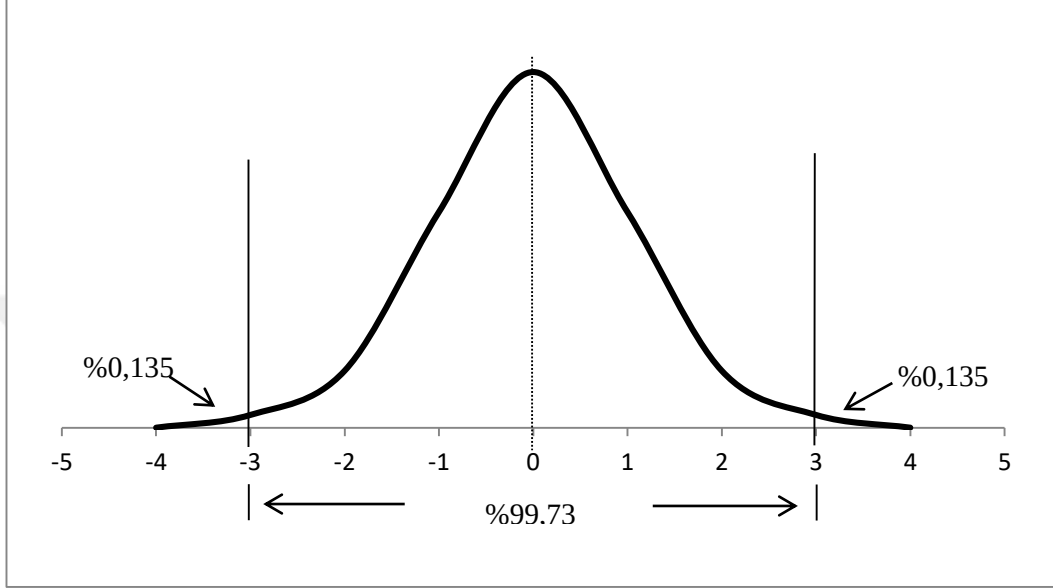
Kaynak: Taghizadegan, 2006: 5.

1.1.1 Altı Sigma'nın İstatistiksel Karşılığı

Normal dağılıma göre bir sürecin çıktısının değişkenlik aralığı, dağılım ortalaması ve standart sapması bilindiğinde belirlenebilir. Değişkenliğin $\pm 1\sigma$ aralığında kalma olasılığı %68,26; $\pm 2\sigma$ aralığında kalma olasılığı %95,45; $\pm 3\sigma$ aralığında kalma olasılığı ise %99,73'tür. Sürece müdahale için $\pm 3\sigma$ değişkenliğinin

kullanılması ilk kez 1920’li yıllarda Walter A. Shewhart tarafından önerilmiştir (Demir ve Gümüşoğlu, 1998: 669). Buna göre bir süreç çıktısının dağılım ortalaması $\pm 3\sigma$ aralığında olmalıdır (Şekil 1).

Şekil 2: Normal Dağılıma göre 3 σ Süreç Dağılımı



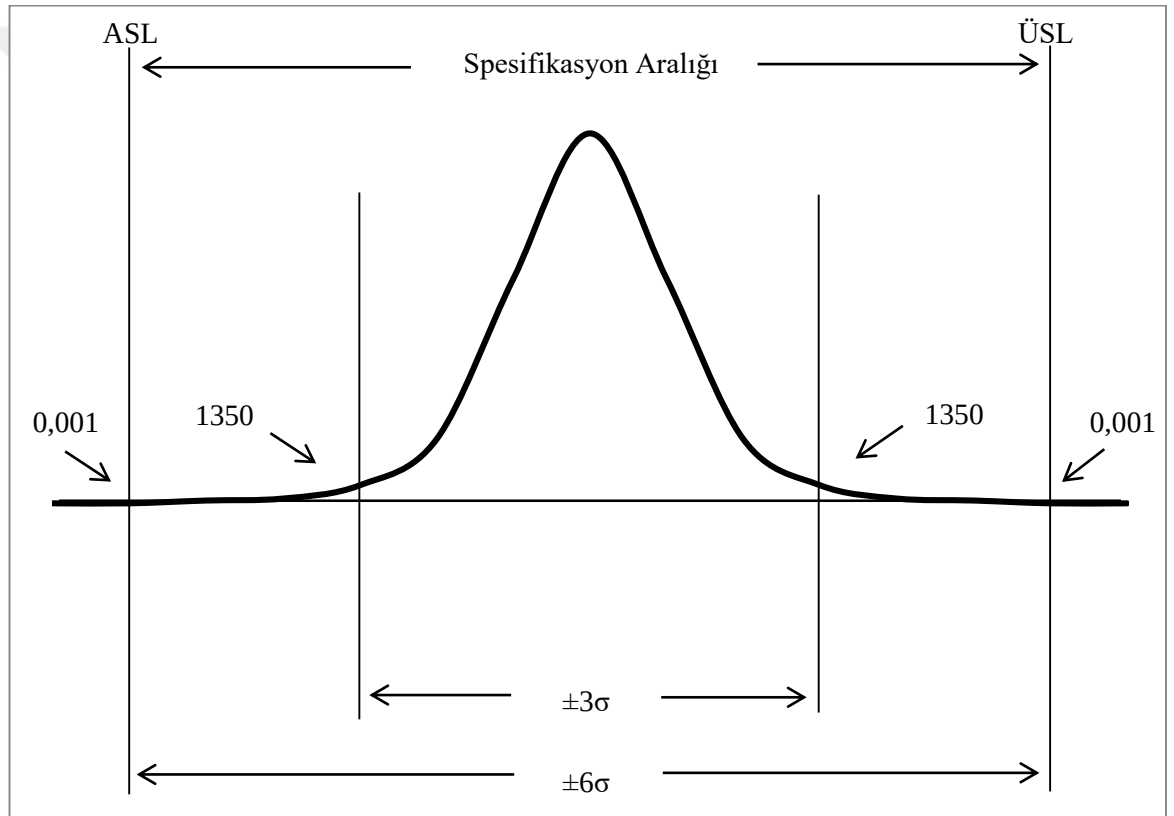
Üç sigma seviyesinde, verilerin %0,27’si yani milyon adette 2700 tanesi spesifikasyon limitlerinin dışında kalır. Altı Sigma felsefesine göre belirlenen hata oranlarından farklı olan bu değerler, ortalama merkezde iken normal dağılıma göre gerçekleşen değerlerdir. Ortalama merkezde iken gerçekleşen sigma seviyeleri tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5: Ortalama Merkezde İken Sigma Seviyeleri

Sigma Seviyesi	Verim (%)	Milyon Fırsat Başına Hata
1	68,26	317.400
2	95,45	45.500
3	99,73	2.700
4	99,9937	63
5	99,999943	0,570
6	99,9999998	0,002

Ortalama merkezde iken 3σ ile 6σ 'nın istatistiksel gösterimi şekil 2'de verilmiştir. Altı sigma performansına ulaşmadaki amaç, bir sürecin tasarım spesifikasyonları (ASL: Alt Spesifikasyon Limiti ve ÜSL: Üst Spesifikasyon Limiti) içindeki değişkenliğini $\pm 6\sigma$ seviyesine getirmektir. 6σ seviyesine doğru hata sayısı azalmaktadır. 3σ 'dan 4σ seviyesine geçen bir süreçte, verim %99,73'den, %99,9937'ye çıkacaktır. Hata sayısı ise bir milyon adet üretimde 2700 adetten, 63 adede azalacaktır.

Şekil 3: Ortalama Merkezde İken 3σ ve 6σ Süreç Dağılımı



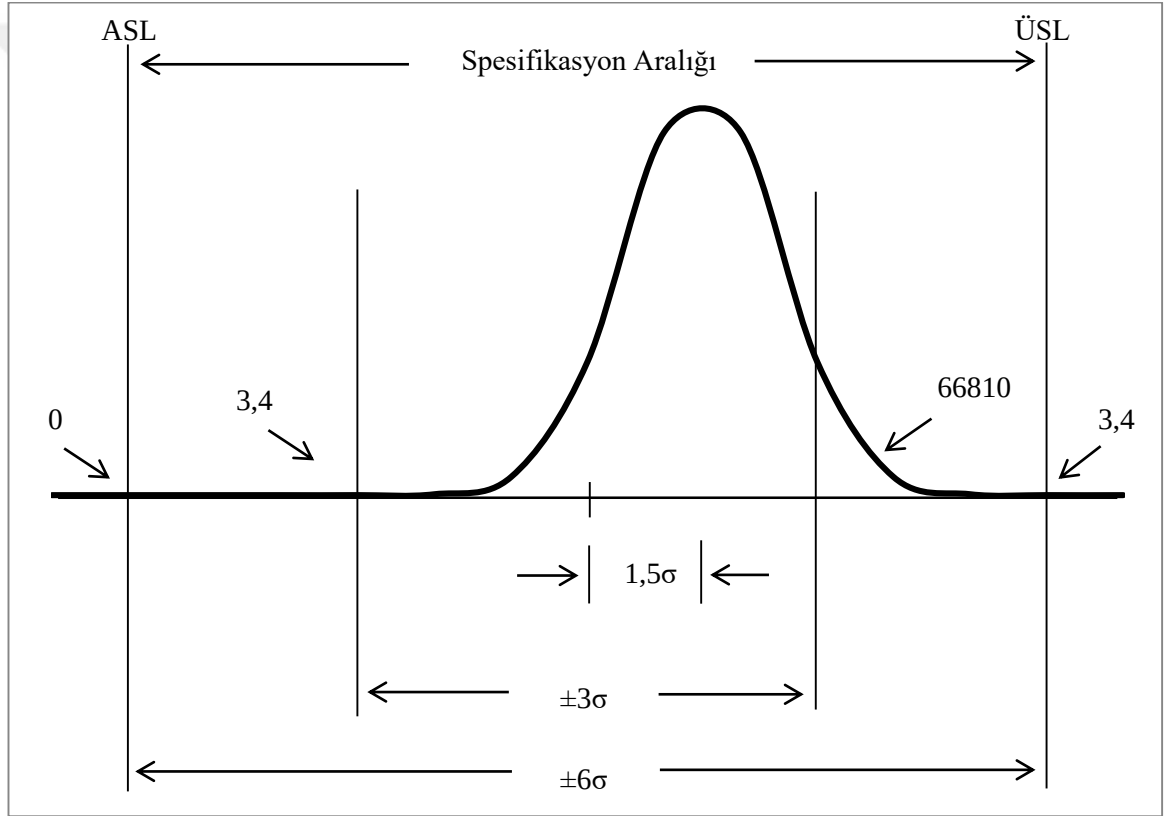
Kaynak: Taghizadegan, 2006: 12.

1.1.2 Ortalamadan 1,5 Sigma Kayma

Normal dağılıma göre, 6σ dışında kalan alanın hata seviyesi milyonda 0,002 adet yani milyarda 2 adet olmalıdır. Ancak Altı Sigma seviyesinde hata oranı milyonda 3,4 adettir. Bunun sebebi, Motorola'nın süreç ortalamasının her iki yöne

1,5 sigma kayabileceğini varsaymasıdır. Normal dağılıma göre $4,5\sigma$ 'nın dışında kalan alanın hata seviyesi milyonda 3,4'tur (Pyzdek, 2003: 60). Süreç ortalamasının limitlerin tam ortasında kaldığı durumda süreç statiktir ve milyarda 2 adet hata verir. Ancak, Altı Sigma kavramında süreç dinamik olarak göz önüne alınır. Şöyle ki, zaman içinde süreç ortalaması; malzemedeki, operatördeki, çevresel faktörlerdeki veya araçlardaki pek çok küçük değişikliğe bağlı olarak artabilir veya azalabilir (Bothe, 1997: 831).

Şekil 4: Ortalamanın $1,5\sigma$ Kayması Durumunda 3σ ve 6σ Süreç Dağılımı



Kaynak: Breyfogle III, 1999: 10.

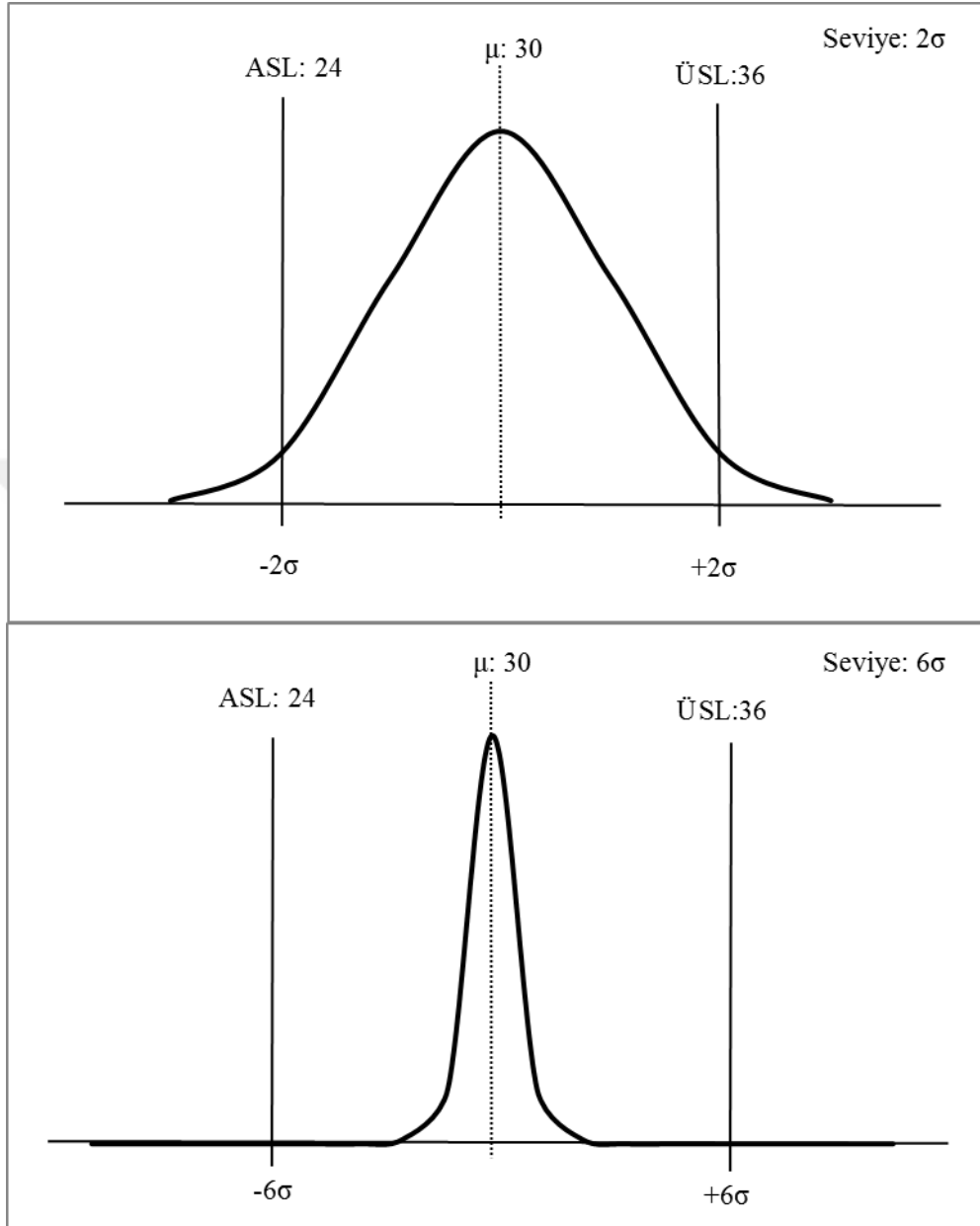
Ortalamanın $1,5\sigma$ kayması durumunda 3σ ile 6σ 'nın istatistiksel gösterimi şekil 3'de verilmiştir. Az önceki örneği tekrar incelersek, 4σ seviyesindeki bir süreçte bir milyon adet üretimde 63 adet ürünün hatalı olması, iyi gibi görünebilir. Ancak, buna sürecin doğal değişimini de ($1,5\sigma$ kayma) eklediğimizde sürecin verimi %99,379'e

geriler. Bu durumda ürünlerin %0,621'i spesifikasyon limitleri dışında olur ve her bir milyon adet üretimden 6210 adedi hatalı olur (Öztürk, 2009: 453).

Altı Sigma performansını, bütün çıktıları müşterilerin spesifikasyonlarına uygun hale getirmek üzere, bir sürecin sigmalarını (yani standart sapmalarını) azaltmak ya da değişkenlik aralığını daraltmak biçiminde tanımlayabiliriz (Pande ve diğerleri, 2004: 58). Böylece müşteri gereksinimlerine göre belirlenen alt spesifikasyon limiti (ASL) ve üst spesifikasyon limiti (ÜSL) $\pm 6\sigma$ seviyesinde sağlanmış olacak ve süreç milyonda 3,4 adet hata verecektir ($1,5\sigma$ kayma varsayımıyla).



Şekil 5: Dağıtım Süreci Örneği Süreç Dağılımı Grafikleri



Ortalaması 30 dakika, ASL 24 dakika, ÜSL 36 dakika ve standart sapması 3 dakika olan bir dağıtım sürecini düşünelim. Mevcut durumda süreç 2σ seviyesindedir (Değişkenlik/standart sapma= $\pm 6/3=\pm 2$). Dağıtım sürecinde gerçekleştirdiğimiz iyileştirme çalışmasıyla değişkenliği azalttığımızı varsayalım. Yeni durumda standart sapma 1 dakikaya düşürülmüş olsun. Böylece yeni durumda ± 6 standart sapma, spesifikasyon limitleri dahilinde kalacaktır ($\pm 6/1=\pm 6$). Bunun anlamı, ortalamaya

kıyasla 6 σ 'lık performansı yakalamış olduğumuzdur (Pande ve diğerleri, 2004: 58). Örneğe ilişkin dağılım grafikleri şekil 4'de verilmiştir.

Motorola'da ortaya atılan sürecin ortalamasının 1,5 σ kaydırılması düşüncesi ile normal dağılım daha gerçekçi bir hale getirilmiş olmuştur. Çünkü ortalamanın kaydırılmadığı normal dağılımda, süreçler olduklarından daha iyi görünmektedir (Firuzan ve Kuvvetli, 2012: 5). Çeşitli kayma miktarlarına göre sigma seviyesi ve DPMO ilişkisi tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Kayma Miktarı ile Sigma Seviyesi ve DPMO İlişkisi

Sigma Seviyesi	Milyon Fırsat Başına Hata (DPMO)				
	Kayma yok	0,5 σ kayma	1 σ kayma	1,5 σ kayma	2 σ kayma
3	2.700	6.210	22.750	66.810	158.700
4	63	233	1.350	6.210	22.750
5	0,57	3,4	32	233	1350
6	0,002	0,019	0,29	3,4	32

1.1.3 Çok Aşamalı Süreçlerde Altı Sigma Verimi

Tek aşamaya ya da sadece sürecin sonundaki hata oranına odaklanan şirketler, sürecin içinde yaşanan olumsuzlukları gözden kaçırabilir (Breyfogle III, 1999: 141). Tek aşamalı ve verimi %93,3 olan bir süreci ele alırsak, bu sürecin 3 σ seviyesinde olduğunu hesaplayabiliriz. Bu sürece aynı verime sahip iki aşama daha eklediğimizi düşünelim. Bu durumda verim, üç aşamanın verimlerinin birbirleriyle çarpımından %81,22 olarak ve sigma seviyesi de 2,39 olarak belirlenir. Görüldüğü gibi her biri 3 σ seviyesinde olan 3 aşamalı bir sürecin sigma seviyesi aşamalardan farklı olarak 2,39'a düşmüş oldu. Aşama sayısı arttıkça bu etki de artmaktadır. Tablo 7'de 10 aşamalı bir sürecin aşama aşama ve kümülatif olarak verimleri görülmektedir (Breyfogle III, 1999: 143). Aşamaların en zayıfı %82 verime sahip olmasına rağmen sürecin verimi %27'dir.

Tablo 7: Çok Aşamalı Süreçlerde Verim Karşılaştırması

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aşama verimi	0,92	0,82	0,95	0,82	0,84	0,93	0,92	0,91	0,83	0,85
Kümülatif verim	0,92	0,75	0,72	0,59	0,49	0,46	0,42	0,38	0,32	0,27

Altı Sigma, süreçlerin tüm aşamalarında milyonda 3,4 hatayı hedefleyerek, sürecin tamamındaki verimi arttırmaya katkı sağlamaktadır. Gerçek iş dünyasında süreçler yukarıdaki örnekte gösterilenden daha fazla aşamadan oluşabilmektedir. Aşama sayısı 100'e hatta 1000'e yükseldiğinde %99,4 kalite seviyesini veren 4σ düzeyinde bile verim, 100 aşama için %53'e ve 1000 aşama için %0,2'ye düşmektedir. Çeşitli sigma seviyelerinde aşama sayısına göre verim durumları tablo 8'de gösterilmektedir. On aşamalı süreciyle 1000 müşteriye hizmet veren bir şirket düşünürsek, 3σ düzeyinde müşterilerin 499'unu tatmin edemeyecek iken 4σ düzeyinde 60 müşteriyi tatmin edemeyecektir (Behara ve diğerleri, 1995: 18). Aradaki fark, bir şirkette Altı Sigma uygulamanın diğer bir ifade ile değişkenliği azaltmanın önemini ortaya koymaktadır.

Tablo 8: Çeşitli Sigma Seviyelerinde Aşama Sayısına Göre Verim ($1,5\sigma$ Kaydırılmış Dağılım)

Aşama sayısı	$\pm 3\sigma$ (%)	$\pm 4\sigma$ (%)	$\pm 5\sigma$ (%)	$\pm 6\sigma$ (%)
1	93,32	99,379	99,9767	99,99966
10	50,08	93,96	99,768	99,9966
100	0,10	53,64	97,70	99,966
1000	0,00	0,20	79,24	99,661

Kaynak: Behara ve diğerleri, 1995: 11.

Aşama sayısı arttıkça pek çok şirket tarafından kullanılan ve iyi bir seviye olarak değerlendirilen 4σ seviyesinde verim oldukça düşmektedir. Altı sigma

seviyesinde ise aşama sayısının artması ve $1,5\sigma$ kayma durumlarında bile yüksek verimli sonuçlar elde edilmektedir (Bakınız: Tablo 8).

1.2 ALTI SİGMA TARİHİ

Altı Sigma 80'li yıllarda Motorola şirketinde geliştirilmiş bir kavramdır. Japonya'nın artan rekabet gücüne karşı, kalite seviyesini artırma çabalarının sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Ancak temelde, metodolojinin kullandığı araçlar bakımından, 1900-1920 yılları arasında Frederick W. Taylor tarafından geliştirilen Bilimsel Yönetim ve istatistik teorilerine kadar dayanan 100 yıllık bir geçmişi bulunmaktadır (S.P.A.C, 2003: 15). Bu nedenle, mevcut kalite çabalarını bütünleyen bir yapıda olduğu kabul edilir (Caulcutt, 2001; Gürsakal ve Oğuzlar, 2003; Pande ve diğerleri, 2004; Öztürk, 2009).

80'li yılların ortasında mali açıdan iyi durumda olmayan Motorola şirketinin CEO'su Bob Galvin tarafından başlatılan Altı Sigma ile Motorola'da çok etkileyici sonuçlar elde edildi ve bu sonuçların diğer firmaların da ilgisini çekmesiyle Altı Sigma felsefesi yayılmaya başladı (Gürsakal ve Oğuzlar, 2003: 28). Altı Sigma felsefesinin istatistiksel olarak karşılığı olan 6σ kalite düzeyi, yani milyonda 3,4 hata oranı, Motorola mühendisi Bill Smith tarafından 1986 yılında bulunmuş ve Motorola'da standart olarak kabul edilmiştir (Öztürk, 2009: 451). Bu yaklaşımla beraber Motorola'da kalite düzeyi sigma seviyesi kavramıyla ifade edilmeye başlanmış ve hedef 6σ kalite düzeyi olarak belirlenmiştir. Geliştirilen felsefenin iyileştirme projelerinde uygulanabilmesi için MAIC (Measure, Analyse, Improve, Control) adı verilen problem çözme modeli oluşturulmuştur. Daha sonra 1995 yılı ve sonrasında, Altı Sigma'nın hizmet süreçlerine uygulanmasıyla beraber Tanımlama (Define) aşamasına ihtiyaç duyulmuş ve metodolojiye eklenmiştir (S.P.A.C, 2003: 18-19).

Motorola'da Altı Sigma'nın doğmasına neden olan ilk kıvılcım, mali sıkıntılar ve verimsizlik sebebiyle televizyon üreten Quasar fabrikalarının Japonlara satılmasının ardından, fabrikanın kısa sürede elde ettiği başarılar sonrasında çıkmıştır. 70'li yıllarda satılan fabrikanın, %150 olan hata oranını birkaç yıl içinde %3 seviyelerine Amerika'da Amerikan işçisiyle düşürmesi, Motorola'ya bir şeylerin ters gittiğini göstermişti (S.P.A.C, 2003: 16). Motorola'da Altı Sigma uygulamasının

başlamasından 2 yıl sonra Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü kazanılmıştır. Bu başarıdan sonra Altı Sigma felsefesi Amerika'da hızla yayılmaya başlamıştır (Pyzdek, 2003: 4). Altı Sigma felsefesinin 1995 yılında GE'de uygulanmasından sonra ise yöntem, küresel bir boyut kazanmaya başlamıştır (S.P.A.C, 2003: 18).

1.3 ALTI SİGMA İYİLEŞTİRME MODELİ

Altı Sigma sisteminde başarılı olmanın anahtarlarından biri, kuruluşunuzu, kaldırabileceğinden daha ağır bir yükün altına sokmayacak biçimde, sizin için öncelikli olan iyileştirme alanlarını seçebilmenizdir (Pande ve diğerleri, 2004; 106). Bu alanların seçimi ve iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi için DMAIC olarak adlandırılan iyileştirme modeli kullanılmaktadır (D: Tanımlama, M: Ölçme, A: Analiz, I: İyileştirme, C: Kontrol). Model ilk olarak Motorola şirketine MAIC olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra yöntemin küresel olarak tanınmasını sağlayan GE'deki uygulaması sırasında tanımlama aşaması eklenerek bugün yaygın olarak kabul edilen halini almıştır. Altı Sigma iyileştirme projelerinin yürütülmesinde faydalı bir yapı sağlayan modelin adımları tablo 9'de özetlenmiştir.

Altı Sigma, zaman içinde gelişerek dar bir kalite yönetim programından, uzun dönemli bir karar verme stratejisine dönüşmüştür (Öztürk, 2009: 459). Bu bağlamda araştırmacılar Altı Sigma'nın başarılı yayılımının, az sayıdaki yüksek etkili konulara odaklanmak ile mümkün olacağını ortaya koymuşlardır (Pyzdek, 2003: 21). Bu odaklanma ve odaklanma sonucunda elde edilecek olan başarı ise Altı Sigma'nın DMAIC iyileştirme modeli aracılığı ile gerçekleşmektedir. DMAIC çeşitli takımları bir araya getiren ve tüm üyelerin yaptıkları işleri paylaşabilecekleri genel bir süreçtir (Pande ve Holpp, 2002: 27). Aşağıda DMAIC modelinin aşamaları açıklanmıştır.

Tablo 9: DMAIC Modeli Aşamaları

D	İyileştirme çalışmasının hedefleri tanımlanır. En önemli hedefler müşterilerden alınmalıdır. Üst yönetim için hedefler, üst düzey müşteri bağlılığı gibi örgütün stratejik amaçları olmalıdır. Operasyonel seviyede hedefler, üretim bölümünün çıktısını attırmak olmalıdır. Proje seviyesinde hedefler, kusur oranını düşürmek olmalıdır.
M	Mevcut sistem ölçülür. Tanımlama aşamasında belirlenen hedeflere yönelik olarak, gelişimi izlemeyi sağlayacak geçerli ve güvenilir metrikler oluşturulur.
A	Sürecin mevcut performansı ile hedeflenen performansı arasındaki farkın yok edilmesinin yöntemlerini tanımlamak üzere sistem analiz edilir. Mevcut durumun belirlenmesi ile başlanır. Analizi desteklemek için istatistiksel araçlar kullanılır.
I	Süreç iyileştirilir. İşleri daha iyi daha ucuz ve daha hızlı yapmak için yeni yöntemler bulmada yaratıcı olunmalıdır. Yeni yaklaşımı uygulamak için planlama ve yönetim araçları kullanılmalıdır. İyileşmenin doğrulanması için istatistiksel yöntemler kullanılır.
C	Yeni süreç kontrol edilir. Ödül ve teşvik sistemleri geliştirerek iyileştirilen sistem kurumsallaştırılır. Yeni sistemin sürekliliğini izlemek için istatistiksel yöntemler kullanılır.

Kaynak: Pyzdek, 2003: 238.

1.3.1 Tanımlama Aşaması

Tanımlama aşamasında, Altı Sigma iyileştirme projesinin amaç ve kapsamı tanımlanır ve kritik kalite değişkenleri (müşteri açısından) ile yapılan işin mevcut durumu arasında ilişki kurulur (Gürsakar ve Oğuzlar, 2003: 52). Bu ilişkide dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır (Baş, 2003: 30):

- Seçilen proje mevcut imkanlarla yapılabilir olmalıdır,
- Problemler net ve sayısal olarak tanımlanmalıdır,
- Daha iyi bir kalite yaratma ve maliyet azaltma ihtimali yüksek olmalıdır.

Tanımlama aşamasında, takım pek çok soruyla uğraşmalıdır: Ne üzerine çalışıyoruz? Neden bu problem üzerine çalışıyoruz? Müşteri kim? Müşterinin ihtiyaçları ne? Mevcut durumda iş nasıl yapılıyor? İyileştirmenin faydaları ne? (Pande ve Holpp, 2002: 31). Bu soruların değerlendirilmesinde çoğunlukla aşağıdaki problem çözme araçları ve teknikleri kullanılmaktadır:

- Akış diyagramları
- SIPOC analizi
- Kalite fonksiyon göçerimi
- İlişkiler diyagramı

Tanımlama aşaması üç ana bileşenden oluşmaktadır. Birinci bileşen, Altı Sigma projesinin amaçlarını içeren proje beyanının oluşturulmasıdır. İkinci bileşen, sürecin tedarikçi, girdi, süreç, çıktı ve müşteri boyutlarını değerlendiren SIPOC analizinin yapılmasıdır. Üçüncü bileşen, müşterinin kalite bakış açısına göre kritik olan ürün, hizmet veya süreç karakteristiklerinin keşfi için müşterinin sesi analizinin yapılmasıdır (Gitlow ve Levine, 2005: 61-62).

1.3.2 Ölçme Aşaması

Bir süreçteki iyileştirme fırsatlarını belirlemek için yapılacak analizler öncesinde, problem bölgeleri doğru olarak belirlenmeli ve kullanılacak yöntemler bu bilgiler ışığında seçilmelidir (Baş, 2003: 32). Bu nedenle ölçme aşamasının önemi büyüktür. Bu aşamada mevcut durum verileriyle ortaya koyulur ve süreç için önemli faktörler belirlenir. Analiz aşamasına geçmeden önce gerekli tüm bilgilerin toplandığında emin olunmalıdır. Bu aşamayı doğru uygulayabilmek için aşağıdaki soruları sormalıyız (Pyzdek, 2003: 239):

- Sürecin kritik ölçütleri nelerdir?
- Ölçütler geçerli ve güvenilir mi?
- Süreç üzerinde yeterli veriye sahip miyiz?
- İlerlemeyi nasıl ölçeceğim?
- Projenin başarısını nasıl ölçeceğim?

Ölçme aşaması, tanımlama aşamasının mantıksal devamıdır ve bir sonraki analiz aşaması için köprü niteliğindedir. Ölçme aşamasının iki önemli amacı vardır: Problem veya fırsatları sayısallaştırmak için veri toplamak ve doğrulamak; problemin sebebi hakkında ipuçları sağlayacak gerçekleri ve sayıları açıklığa kavuşturmaya başlamak (Pande ve Holpp, 2002: 33). Ölçme aşamasında yaygın olarak kullanılan problem çözme araçları aşağıda verilmiştir:

- Hata türü ve etkileri analizi (FMEA)
- Pareto diyagramı
- Süreç yeterliliği
- Histogram

1.3.3 Analiz Aşaması

Analiz aşamasında, DMAIC takımı detayları araştırır, sürecin ve sorunun anlamını geliştirir ve her şey istenen şekilde ilerlerse, problemin ardındaki asıl nedeni ortaya çıkarır. Yani bu aşama kök nedeni bulmak için kullanılır (Pande ve Holpp, 2002: 36). Dolayısıyla bu aşamada iyileştirme fırsatlarının önceliklerini ve değişkenlik kaynaklarını belirlemek için çeşitli analizler yapılır (Gürsakal ve Oğuzlar, 2003: 58). Bu analizlerde kullanılan problem çözme araçları aşağıda verilmiştir:

- Beyin fırtınası
- Sebepler sonuç diyagramı
- Serpilme diyagramı
- İstatistiksel süreç kontrolü (SPC)

1.3.4 İyileştirme Aşaması

İyileştirme aşaması, hedefe ulaşmak için analiz aşamasında belirlenen iyileştirme noktalarının (problemler) arasından seçim yapılması ve iyileştirmenin uygulanmasıdır (Öztürk, 2012: 460). İyileştirmenin yapılması için belirlenen ürün ya da süreç detaylı incelenir ve problemi önlemeye yönelik uygulanacak değişiklik tasarlanır. Tasarım doğrulanıp onaylandıktan sonra da uygulamaya geçilir. Ürünü ve süreci iyileştirecek bu uygulama; daha iyi bir programlama, daha iyi bir prosedür veya daha iyi bir ekipman olabilir (Baş, 2003: 36). Elinizdeki çözümü uygulamadan önce problem ile aşağıdaki hususların kontrol edilmesi gerekmektedir (Baş, 2003: 35):

- Problem herkes tarafından anlaşılabilir şekilde net tanımlanmış mı?
- Problem mevcut imkan ve kaynaklarla çözülebilecek nitelikte mi?
- Problemin çözülmesi halinde sağlayacağı yarar büyük mü?
- Problemin çözümüne yardımcı olacak doğru verilere sahip miyiz?
- Problemin temel nedenleri ve bunların nasıl giderileceği doğru olarak belirlenmiş mi?

İyileştirme aşamasında genellikle kullanılan problem çözme araçları ve teknikleri aşağıda verilmiştir:

- Ağaç diyagramı
- Beyin fırtınası
- Pareto diyagramı
- Hata türü ve etkileri analizi (FMEA)

1.3.5 Kontrol Aşaması

Kontrol aşaması, yürütülen iyileştirme planının geliştirilmesini, dokümantasyonunu ve uygulamasının izlenmesini içerir ve bu sayede ana hedefi olan, eski alışkanlıklara ve süreçlere geri dönülmesinin önlenmesini sağlar (Pande ve

Holpp, 2002: 40 ve Gürsakal ve Oğuzlar, 2003: 61). Kontrol aşamasında, elde edilen başarının kalıcı olmasının sağlanması önemlidir. Aksi takdirde, harcanan tüm kaynaklar ve çabalar boşa gidecektir. Kontrol aşamasının icra edilmesi ve elde edilen başarının sürdürülebilir olması için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (Baş, 2003: 37):

- İlk dört aşama sonunda elde edilen kazançlar değerlendirilir,
- Elde edilen kazançların devamlılığı için neler yapılabileceği kararlaştırılır,
- Altı Sigma'nın güçlü araçları yardımı ile en küçük başarının dahi kalıcı olması sağlanır.

Kontrol aşamasında yararlanılan problem çözme araçları ve teknikleri aşağıda verilmiştir:

- İstatistiksel süreç kontrolü (SPC)
- İşaret çizelgeleri
- Akış diyagramları

1.4 ALTI SİGMA ORGANİZASYONU

Altı Sigma organizasyonunun kurulabilmesi için şirket içi yeni rol ve sorumlulukların tanımlanması gereklidir. Ardından bu rollere atanacak kişilere gerekli eğitim verilir. Kurulan organizasyonun iyi işleyebilmesi için inançlı ve istekli üst yönetime ihtiyaç duyulur. Bu nedenle, Altı Sigma tepeden aşağıya uygulanmalıdır. İlgisiz bir üst yönetim Altı Sigma girişimlerinin başarısız olmasının bir numaralı nedeni olacaktır. Buna karşın, üst yönetimin tamamıyla Altı Sigma'yı desteklediği halde ilerleme kaydedememiş tek bir vaka bile yoktur (Pyzdek, 2003: 28). Altı Sigma organizasyonundaki temel roller; şampiyonlar, uzman kara kuşaklar, kara kuşaklar ve yeşil kuşaklardır.

Altı Sigma'nın başarılı bir uygulaması için tüm taraflarca sahiplenilmiş liderlik vizyonunun yanında sistemdeki bütün bireylerin katkısı gereklidir. Bu topyekun organizasyon, kültürel değişim gerektirdiği için Altı Sigma, pek çok kişiyi

korkutmaktadır ancak bunu aşmanın yegane yolu da iyi iletişim kurmaktan geçmektedir (Pyzdek, 2003: 31).

1.4.1. Altı Sigma Organizasyonunda Roller ve Sorumluluklar

Süreç iyileştirme temeli üzerine kurulu Altı Sigma yönetiminin başarılı olması için şirket genelinde özümsevenek uygulanması gerekmektedir. Bu özümsemenin sağlanması için şirket içi eğitimin yanında rollerin ve sorumlulukların da doğru belirlenmesi önemlidir. Çünkü Altı Sigma'nın başarısı, tıpkı bir futbol takımında açıkça tanımlanmış olan suçu çocuk ve takım kaptanı görevlerinde olduğu gibi çok iyi belirlenen rol ve sorumluluklara bağlıdır (Baş, 2003: 23). Aşağıda, Altı Sigma organizasyonunun temel rol ve sorumlulukları açıklanmıştır.

1.4.1.1 Şampiyonlar

Şampiyonlar, Altı Sigma projelerini destekleyen üst düzey yöneticilerdir. Altı Sigma süreçlerinin sahibi olarak görülen şampiyonlar, temel olarak çalışmaların başarısından sorumludurlar. Bunun yanı sıra projeyi yürüten ekibe destek olurlar, gerekli kaynakları sağlarlar, proje önündeki engelleri ortadan kaldırırılar, yol göstericidirler ve sorgulayıcıdırılar.

Şampiyonlar ekibin etkinliklerinde aktif rol almazlar ancak gerektiğin projeye tam zamanlı hizmet ederler (Gürsakar ve Oğuzlar, 2003: 76). Proje tamamlandığında resmi olarak projenin onaylanmasından ve raporlanıp sunulmasından sorumludurlar. Şampiyonların başlıca görevleri aşağıdaki özetlenmiştir (Baş, 2003: 26 ve Öztürk, 2009: 463):

- İyileştirme projelerinin işletme amaçlarıyla uyumlu olmasını sağlamak,
- İyileştirme takımlarına yol göstermek ve takım içinde koordinasyonu sağlamak,
- İyileştirme projelerinde yapılacak konu ve kapsam değişikliklerini onaylamak ve projelere kaynak sağlamak,

-İvmesini kaybeden çalışmaları canlandırmak için tedbir almak ve gerekli değişiklikleri yapmak.

1.4.1.2 Uzman Kara Kuşaklar

Pek çok organizasyonda uzman kara kuşaklar, çeşitli projelerde kara kuşaklara koçluk ve danışmanlık yaparak hizmet ederler (Pande ve Holpp, 2002: 22). Altı Sigma projelerinde takımların sabit bir üyesi olmamakla beraber temel görevleri, takımlara teknik koçluk yapmak, tavsiyelerde bulunmak ve problemler karşısında destek sağlamaktır (Yüksel, 2010: 273). Altı Sigma yönteminin ve araçlarının kullanımında üst düzeyde donanımlı ve eğitilmiş kişilerdir. Uzman kara kuşaklar, kara kuşaklar arasından seçilirler ve tam zamanlı olarak çalışırlar. Uzman kara kuşakların özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Gürsahal ve Oğuzlar, 2003: 66):

- Altı Sigma'nın uzun dönemli teknik vizyonundan sorumludurlar,
- Kara kuşakların eğitilmesinden ve onlara koçluk edilmesinden sorumludurlar,
- Teknik becerileri yüksek olmalı, güçlü ve güvenilir liderlik özelliklerine sahip olmalıdırlar,
- Proje şampiyonuna rapor verirler.

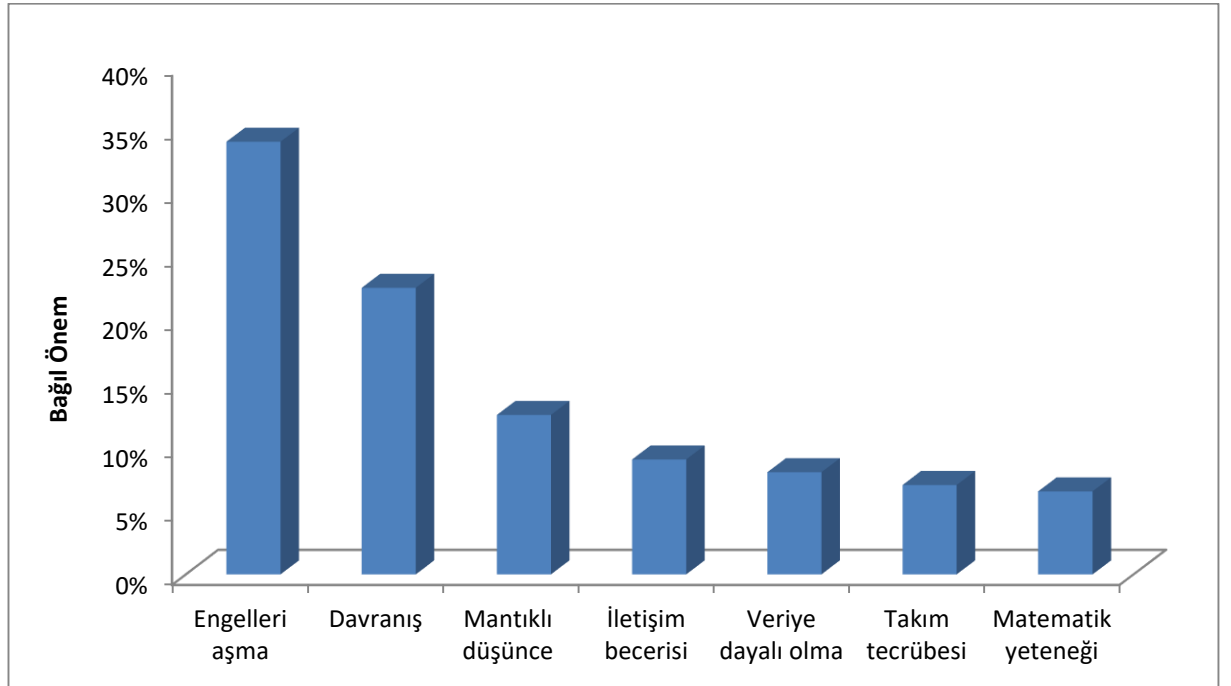
1.4.1.3 Kara Kuşaklar

Altı Sigma kara kuşak kavramı, iş süreçlerinde istatistiksel teknikleri kullanmada deneyimli ve eğitilmiş, böylece şirkete olumlu katkı yapabilen personeli tanımlamak için ilk kez Motorola şirketi tarafından kullanılmıştır (Chase, 1999: 32; Ingle ve Roe, 2001: 275). Altı Sigma projelerinde iyileştirme takımlarına liderlik ederler. Kara kuşaklar yürüttükleri projelerde tam zamanlı olarak çalışırlar. Dolayısıyla mevcut görevlerini proje tamamlanıncaya kadar başka birine devredeler. Kara kuşakların başlıca görevleri aşağıda özetlenmiştir (Baş, 2003: 28 ve Gürsahal ve Oğuzlar, 2003: 67):

- İyileştirme projesini belirleyerek şampiyona teklif etmek,
- Projeyi yönetmek ve proje ile ilgili şampiyona rapor vermek,
- Takım üyelerini belirlemek ve bu konuda şampiyona yardımcı olmak,
- Yeşil kuşakları eğitmek ve onlara koçluk etmek,
- Takım üyelerine teknik destek sağlamak ve Altı Sigma araçlarını yaymak,
- Takım üyelerinin görev dağılımını yapmak.

GE, Johnson&Johnson ve AlliedSignal'daki gibi olgun Altı Sigma programlarında, kara kuşaklar işgücünün ortalama %1'ini oluştururlar ve genellikle her 10 kara kuşak için 1 uzman kara kuşak veya 1000 çalışan için 1 uzman kara kuşak bulunur (Pyzdek, 2003: 30). Kara kuşakların başarılı olması için gerekli olan nedir sorusunun cevabını bulmak için bir grup danışman ve uzman kara kuşak ile çalışma yapılarak yedi adet başarı faktörü belirlenmiştir ve önem ağırlıklarına göre sıralanmıştır. Bu başarı faktörleri şekil 5'de verilmiştir. Bu çalışma, kara kuşakların başarısında engelleri aşma becerisinin ve davranış özelliklerinin matematik yeteneğinden çok daha etkili olduğunu göstermektedir.

Şekil 6: Kara Kuşak Başarı Faktörleri ve Önem Dereceleri



Kaynak: Pyzdek, 2003: 45.

1.4.1.4 Yeşil Kuşaklar

Yeşil kuşaklar, Altı Sigma takımlarını kurma ve Altı Sigma projelerini baştan sona yönetme kapasitesinde olan proje liderleridir (Pyzdek, 2003: 29). Ancak istatistik bilgisi ve liderlik özelliklerinde kara kuşaklarla aynı seviyede olmaları gerekmez (Ingle ve Roe, 2001: 277). Yeşil kuşaklar, süreç iyileştirmede kısmi zamanlı olarak çalışan değişim temsilcileridir. Yeşil kuşaklar zamanlarının esas kısmını normal görevlerini yapmaya harcarlar. Pek çok uzman, yeşil kuşakların, zamanlarının %10 ila 20'sini projelere harcamalarını savunsa da, gerçekte bir yeşil kuşak zamanının %2 ila 5'ini projelere harcar (Pyzdek, 2003: 48). Yeşil kuşakların görevleri aşağıda verilmiştir (Gürsakar ve Oğuzlar, 2003: 76 ve Baş, 2003: 28):

- Altı Sigma yöntemini günlük işler ile birleştirmek,
- Mini projeleri yönetmek,
- Altı Sigma projelerinde kara kuşakların liderliğini üstlendiği iyileştirme takımlarında rol almak,
- İyileştirme projesinde bizzat faaliyet yürütmek.

Yukarıda bahsedilen temel rollerin dışında Altı Sigma organizasyonu çeşitli rollere ve sorumluluklara sahiptir. Altı Sigma organizasyonunun tüm rolleri ve sorumlulukları tablo 10'da özetlenmiştir.

Tablo 10: Altı Sigma Organizasyonunda Roller ve Sorumluluklar

Sorumlu kişi	Roller	Sorumluluklar
Üst Kalite Konseyi	Stratejik liderlik	-Altı Sigma hedeflerinin şirket hedefleriyle bağlantısını sağlamak -Gerektiğinde yeni politikalar geliştirmek -Örgüt genelinde süreç mükemmelliği gayretini düzenlemek -Yüksek etkili projeler önermek -Proje seçim stratejisini onaylamak

	Gelişimi izleme	-Kaynak sağlamak -Hedefe doğru giden gelişmeleri izlemek ve kontrol etmek -İyileştirme takımlarının bulgularını gözden geçirmek -Altı Sigma yayılımının etkinliğini değerlendirmek
	Kültürel dönüşüm	-Vizyonu iletmek -Bıçimsel olan veya olmayan engelleri ortadan kaldırmak -Ücret, teşvik, ödül ve tanınma sistemlerinin değişimini devreye sokmak
Direktör	Altı Sigma alt yapısını ve kaynaklarını yönetme	-Altı Sigma yayılımını geliştirmek -Altı Sigma stratejilerinin ve projelerinin, kalite fonksiyon yayılımı aracılığı ile işletme planlarıyla ilişkilendirilmesini sağlamak -Altı Sigma çalışmaları aracılığı ile kusur azaltma ve maliyet azaltma hedeflerine ulaşmak -Kara kuşak ve uzman kara kuşaklara liderlik etmek ve onların performansını değerlendirmek -Altı Sigma ilerlemelerini, müşteriler, tedarikçiler ve işletme ile paylaşmak
Altı Sigma Sertifikasyon Heyeti	Kara kuşakları belgelendirir	-Kara kuşakların ve yeşil kuşakların ihtiyaçlarını düzenlemek için lokal birimlerle birlikte çalışmak -Kara kuşakları ve yeşil kuşakları belgelendirmek için sistem kurmak ve geliştirmek -Kara kuşakları belgelendirmek
Uzman Kara Kuşak	İşletmenin Altı Sigma uzmanı Kalıcı tam zamanlı değişim katalizörü	-Gözle görülür iş sonuçları elde etmek için Altı Sigma metodolojisinde yüksek derecede uzman olmak -Kara kuşak temel eğitimi ve yeşil kuşak eğitimi vermek -Kara kuşaklara koçluk ve mentörlük yapmak -Kara kuşak seviyesinin ötesinde teknik uzmanlığa sahip olmak

Kara Kuşak	Altı Sigma teknik uzmanı	-Süreç iyileştirme projelerine liderlik etmek -İşletme için faydalı sonuçlar doğuracak yüksek etkili projeleri başarı ile tamamlamak -Şirket içi süreç iyileştirme danışmanlığı yapmak -Yeşil kuşaklara koçluk ve mentörlük yapmak -Altı Sigma uygulamalarıyla başarı elde etmede yeterliliğini göstermek
Yeşil Kuşak	Altı Sigma projecisi	-Yeşil kuşak bilgi bütününde uzman olduğunu göstermek -Altı Sigma uygulamalarıyla başarı elde etmede yeterliliğini göstermek -Altı Sigma projesi önermek -Altı Sigma proje takımlarına katılmak -Lokal iyileştirme projelerinde takımlara liderlik etmek -Lokal takımları eğitmek ve Altı Sigma bilgisini paylaşmak -Yeşil kuşak belgesini sürdürmek için yılda en az bir Altı Sigma projesini başarı ile tamamlamak
İyileştirme Takımı	Altı Sigma iyileşmelerini elde etmek için birinci araç	-Belirlenmiş Altı Sigma projelerini tamamlamak -Altı Sigma projesi olabilecek çalışmaları belirlemek
Yöneticiler ve liderler	Altı Sigma şampiyonları	-İyileştirme projelerini planlamak -Altı Sigma yayılımını kolaylaştırmak için ihtiyaç duyulan takımları ve bireyleri belirlemek -Örgütsel ve kültürel engelleri tanımlamak ve ortadan kaldırmak -Başarıları ödüllendirmek -Liderlik vizyonunu iletmek -Altı Sigma ilerlemelerini izlemek ve raporlamak -Altı Sigma proje sonuçlarını onaylamak -Ölçülebilir Altı Sigma hedefleri belirleyerek, Altı Sigma ile performans değerlendirme sürecini bütünleştirmek

Sponsor	Altı Sigma proje takımlarını belirler ve destekler	-Sonuç olarak projelerin başarısından sorumlu olmak -Projelere aktif olarak katılmak -Projeler için temin edilen kaynakların uygun kullanımını sağlamak -Engelleri tanımlamak ve üstesinden gelmek
Proje yöneticisi	Kara kuşak proje takımlarının şampiyonları	-Kara kuşakları ve takım aktivitelerini günlük olarak yönlendirmek -Projelerin periyodik gözden geçirmesini yapmak -Kara kuşakların önerilerine dayalı karar almak -Kara kuşak performans değerlendirmesine veri sağlamak
İyileştirme Takımı Üyesi	Projeler için Altı Sigma araçlarını öğrenir ve uygular	-Takım görevlerine aktif olarak katılım sağlamak -Diğer takım üyeleriyle iyi iletişim kurmak -Temel iyileştirme araçları bilgisini göstermek -Takım tarafından verilen görevleri kabul etmek ve yerine getirmek

Kaynak: Pyzdek, 2003: 39.

1.5. ALTI SİGMA UYGULAMALARINDA KULLANILAN ARAÇLAR

Altı Sigma uygulamalarında pek çok problem çözme aracı kullanılmaktadır. Projelerde tüm araçların kullanılmasına gerek olmamakla beraber Altı Sigma projelerinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için problem çözme araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru problem çözme aracının doğru zamanda kullanılması, çözüme ulaşma adına çok önemlidir. Aşağıda en çok kullanılan problem çözme araçları açıklanmıştır.

1.5.1 Beyin Fırtınası

Projeler sırasında proje takımları pek çok konuda karar almak durumunda kalmaktadır. Alınan kararlar gruptaki herkesin fikrini yansıtmalıdır. Bu anlamda, beyin fırtınası yöntemi, tartışmaya başlamak, pek çok fikri birleştirmek ve herkesin yaratıcılığını ortaya koymak adına değerli bir problem çözme aracıdır (Rubrich ve Watson, 2004: 137). Beyin fırtınası yönteminde tüm görüşler eşit şekilde geçerlidir

ve beyin fırtınası oturumu sonra erdiğinde tüm görüşler tartışılarak sonraki analizler için kayıt altına alınır (Öztürk, 2009: 371). Bu yöntemin amacı, engelleme olmaksızın herkesin kendi düşüncesini ortaya koymasını sağlamaktır. Bu nedenle oturum sırasında alaycı ve eleştirel davranışlara izin verilmez (Ertuğrul, 2006: 56). Başarılı bir beyin fırtınası oturumu gerçekleştirmek için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (Rubrich ve Watson, 2004: 138-139):

-Problemi soru şeklinde ifade edin: Soru oturum boyunca grubun göreceği şekilde tahtaya yazılır.

-Herkes soru hakkında düşünceleri ve fikirlerini not almaları için birkaç dakika verin: Bu adım beyin fırtınası oturumundan birkaç gün önce yapılarak herkesin konu hakkında fikir sahibi olarak oturuma gelmesi sağlanabilir.

-Odada gezin ve tüm katılımcıları fikir vermek üzere davet edin: Herkesin fikrini aldıktan sonra tekrar başlayarak katılımcıların tüm fikirlerini ortaya koymasını sağlayın.

-Tüm fikirleri tahtaya yazın: Tüm fikirleri herkesin görmesi sağlanmalıdır.

1.5.2 İşaret Çizelgesi

İşaret çizelgeleri, verilerin toplandığı biçimde kaydedilmesine imkan sağlayan ve problemlerin ne sıklıkla meydana geldiklerinin kaydedilmesinde yaygın olarak kullanılan bir araçtır (Yüksel, 2010: 246). Basit olmalarının yanı sıra oldukça yararlı süreç geliştirme ve problem çözme araçlarıdır. Histogram ve pareto analizi gibi diğer basit araçlarla birlikte kullanıldıklarında etkileri büyük oranda artmaktadır (Pyzdek, 2003: 255). Örnek bir işaret çizelgesi şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 7: İşaret Çizelgesi (Hata Sayısı)

	Makine 1	Makine 2	Makine 3	Makine 4
Pazartesi	//	/	///	/
Salı	/	//	/	
Çarşamba		///		///
Perşembe		/	/	//

Cuma	///			//
Cumartesi	/	/	//	/
Pazar	/		///	

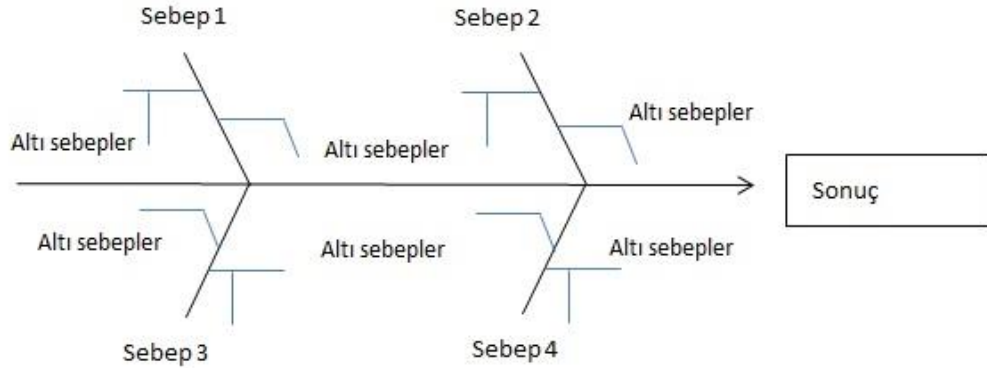
1.5.3. Sebep Sonuç Diyagramı

Sebep sonuç diyagramı, bir probleme yönelik veya iyileştirme fırsatına yönelik olarak kök nedenlerin belirlenmesinde kullanılır (Taghizadegan, 2006: 144). Diyagram, Dr. Ishikawa tarafından geliştirilmiştir ve Ishikawa diyagramı veya balık kılçığı diyagramı adlarıyla da anılır. Sebep sonuç diyagramı kullanılırken sebepten sonuca veya sonuçtan sebebe doğru gidilebilir. Pek çok analizde sebepleri, sonuçları ve sebep sonuç ilişkilerini ortaya çıkarmak için her iki yön de kullanılır (Kolarik, 1995: 173-174). Sebep sonuç diyagramı, belirli bir problem ile ilişkili tüm bilgiyi organize etmek ve grafik olarak göstermek üzere kullanılan bir araçtır ve uygulanması aşağıdaki adımlardan oluşur (Pyzdek, 2003: 261-262):

- 1- İyileştirilecek alanın akış diyagramı hazırlanır
- 2- Çözüm aranan problem tanımlanır
- 3- Problemin tüm olası sebeplerini bulmak için beyin fırtınası yapılır
- 4- Beyin fırtınası sonuçları mantıklı kategorilere ayrılır
- 5- Her kategorideki tüm verilerin ilişkilerini tam olarak gösteren bir sebep sonuç diyagramı çizilir

Sebep sonuç diyagramı şekil 7’de görüldüğü şekilde hazırlanır.

Şekil 8: Sebep Sonuç Diyagramı



1.5.4 Pareto Diyagramı (Analizi)

Pareto diyagramı, problem çözüm sırasını önceliklendirmek ve böylece süreçteki hangi sorunun en büyük etkiye sahip olduğunu belirlemek için kullanılan bir sütun grafiğidir (Taghizadegan, 2006: 117). Pareto diyagramında veriler, en fazla katkı sağlayan soruna dikkati çekmek için büyükten küçüğe sıralanır (Hagemeyer ve diğerleri, 2006: 464). Pareto analizi ise pareto diyagramında sıralanan sorunların analiz edilmesidir. Pareto analizi mantığına göre bir probleme ilişkin sorunlara etki eden faktörlerin %20'si, sorunun %80'ini oluşturmaktadır. Böylece daha az sayıda nedene odaklanılarak sorunun büyük kısmı çözülebilir. Pareto analizi, aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilir (Pyzdek, 2003: 259-260):

1-Problemi oluşturan sorunlar listelenir. Eğer yeterince bilgi yok ise kontrol çizelgesinden faydalanılarak bilgi toplanır.

2-Analiz için bir zaman aralığı seçilir.

3-Her bir sorun için frekans belirlenir ve dip toplam hesaplanır. Toplamın çok küçük kısmını oluşturan tüm sorunlar diğer adı altında toplanır.

4-Her sorunun yüzdesi, sorun frekansının dip toplama bölünüp 100 ile çarpılmasıyla belirlenir.

5-Veriler frekanslarına göre sıralanır.

6-Her bir sorun bir sonraki sorunun yüzdesi ile toplanarak birikimli yüzde hesaplanır.

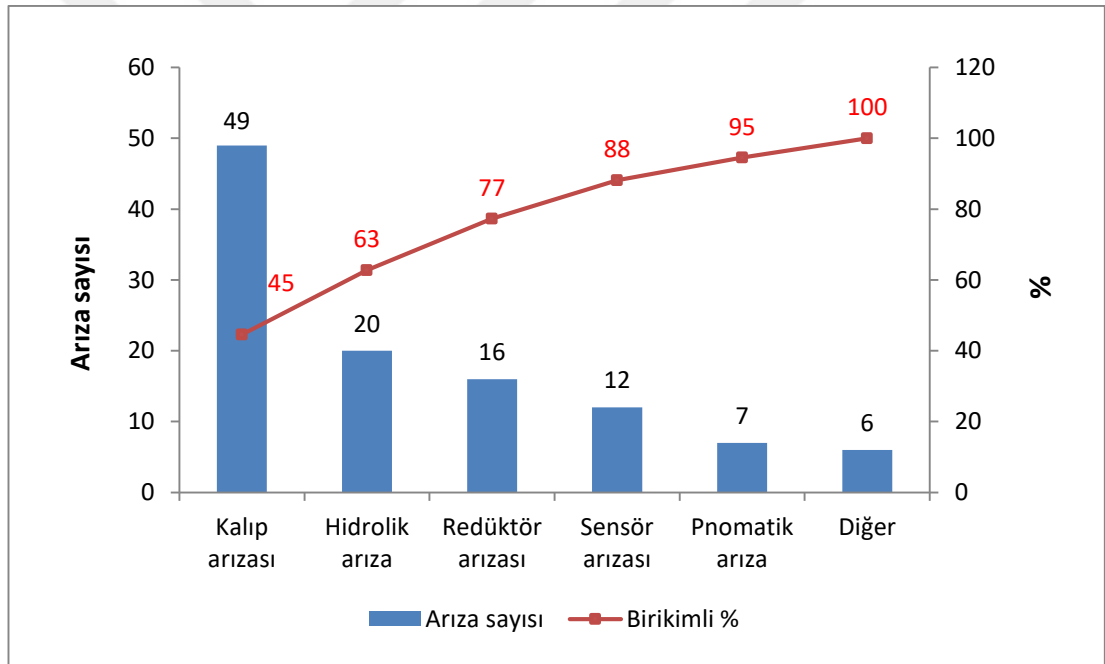
7-Sol dikey eksen sıfırdan dip toplama kadar ölçeklendirilerek grafik oluşturulur. Sağ dikey eksen ise sol dikey eksen ile aynı yükseklikte olacak şekilde sıfırdan %100'e kadar ölçeklendirilir.

8-Yatay eksene sorunların isimleri yazılır.

9-Sütunların içine her sorunun miktarı yazılır.

10- Pareto analiz tablosunun birikimli yüzde sütununu göstermek için çizgi grafik çizilir.

Şekil 9: Pareto Diyagramı



Örnek bir pareto analizi şekil 8’de verilmiştir. Belli bir dönemdeki makine arızalarının incelendiği analizde, arıza çeşitleri frekanslarına göre sıralandıktan sonra her arızanın toplam içindeki yüzde payı belirlenip birikimli yüzdelere hesaplanmıştır. Bu veriler ile çizilen pareto diyagramı incelendiğinde, makinede gerçekleşen en önemli arızanın %45 ile kalıp arızası olduğu ve ilk üç arızanın toplam sorunun %77’sini oluşturduğu görülmektedir.

1.5.5 Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)

Hata türü ve etkileri analizi (FMEA), potansiyel yani gerçekleşme olasılığı bulunan hataların türleri ve etkileri ile ilgilenir. Dolayısıyla, hataların türlerini ve etkilerini belirleyerek, tasarım veya süreç açısından karşılaşılabilecek olası hataları ve etkilerini tanımak, değerlendirmek ve oluşma ihtimallerini azaltacak veya ortadan kaldıracak önlemleri almak olarak tanımlanabilir (Gürsakal ve Oğuzlar, 2003: 156-157). FMEA ile herhangi bir süreçte oluşabilecek hata türleri önceden belirlenebilmekte ve böylece hataların neden olabileceği riskler, müşterilere ulaştırılmadan önce ortadan kaldırılabilir (Oral ve Yüksel, 2007: 57). FMEA tekniğinin etkin kullanımı, aşağıdaki hususlarda azalmaya neden olur (Aldridge ve Dale, 1994: 451-452):

- Üretim sırasındaki kusurlar
- Müşteri şikayetleri
- Saha kusurları
- Performans ile ilgili eksiklikler
- Garanti kapsamındaki işlemler

FMEA yaşayan bir dokümandır ve tasarım değişikliklerini yansıtabilmesi için güncellenmelidir. Böylece, Altı Sigma'nın iyileştirme aşamasında kullanılabildiği gibi kontrol aşamasında da kullanılabilir durumda olacaktır (Pyzdek, 2003: 597). FMEA uygulama süreci aşağıdaki maddelerden oluşur (Taghizadegan, 2006: 157-158):

- 1- Ürün, süreç veya sistem bileşenleri bulunur.
- 2- Potansiyel hata türleri beyin fırtınası ile değerlendirilir.
- 3- Her bir hata türünün potansiyel etkisi listelenir.
- 4- Her etki için şiddet derecesi belirlenir.
- 5- Her etki için olasılık derecesi belirlenir.
- 6- Her hata türü ve etkisi için saptanabilme derecesi belirlenir.
- 7- Risk öncelik değeri (RPN: Risk Priority Number) hesaplanır.

- 8- Hata türleri RPN değerlerine göre önceliklendirilir.
- 9- Yüksek riskli hata türlerini azaltmak için aksiyon alınır.
- 10- Aksiyonlar uygulandıktan sonraki RPN değerleri hesaplanır.

FMEA belirli sebepler ile ilgili riskleri tahmin eder. Ardından risklerin şiddetlerini göz önüne alır ve olasılıklarını belirler. Saptanabilme derecelerini belirledikten sonra son olarak, riskin azaltılması için alınması gereken aksiyonları önceliklendirir (Taghizadegan, 2006: 154). FMEA için şiddet, olasılık ve saptanabilme dereceleri kılavuzu tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11: FMEA Şiddet, Olasılık, Saptanabilme Dereceleri Kılavuzu

Derece	Şiddet	Olasılık	Saptanabilme
	Hatanın müşteriye etkisi ne kadar önemli?	Hata sebebinin ortaya çıkma olasılığı ne kadar?	Mevcut sistemin hata sebebini belirleyebilme olasılığı ne kadar?
1	Önemsiz. Müşteri etkiyi fark etmeyecek veya önemsiz olarak değerlendirecek	Olasılık yok	Müşteriye ulaşmadan önce saptanması neredeyse kesin
2	Müşteri etkiyi fark edecek	Dokümante edilmiş düşük hata olasılığı	Hata saptanmadan müşteriye ulaşma olasılığı çok düşük
3	Müşteri düşük performanstan rahatsız olmaya başlayacak	Dokümante edilmemiş düşük hata olasılığı	Hata saptanmadan müşteriye ulaşma olasılığı düşük
4	Sınırdaki. Düşük performansa bağlı müşteri memnuniyetsizliği	Hatalar zaman zaman ortaya çıkıyor	Müşteriye ulaşmadan önce saptanması olası

5	Müşteri verimliliği azalmış	Dokümante edilmiş orta seviye hata olasılığı	Müşteriye ulaşmadan önce saptanması mümkün
6	Müşteri şikayeti. Tamir veya iade olasılığı. Artan iç maliyetler	Dokümante edilmemiş orta seviye hata olasılığı	Müşteriye ulaşmadan önce saptanması olasılık dışı
7	Kritik. Azalmış müşteri bağlılığı. İç operasyonlar olumsuz olarak etkilenmiş	Dokümante edilmiş yüksek hata olasılığı	Müşteriye ulaşmadan önce saptanması tamamen olasılık dışı
8	Müşteri iyi niyetinin tamamen kaybolması. İç operasyonlar bozulmuş	Dokümante edilmemiş yüksek hata olasılığı	Saptanma şansı zayıf
9	Müşteri veya çalışan güvenliği tehlikede. Mevzuata ilişkin uygunluk sorgulanabilir	Hatalar yaygın	Saptanma şansı çok zayıf
10	Felaket. Müşteri veya çalışan tehlikede. Kanun ve yönetmeliklerin ihlali	Hatalar neredeyse sürekli ortaya çıkıyor	Hatanın saptanamayacağı neredeyse kesin

Kaynak: Pyzdek, 2003: 598-599.

1.5.6. İstatistiksel Süreç Kontrolü

İstatistiksel süreç kontrolü (SPC), sürecin analiz edilmesinde veya süreçten elde edilen çıktıların istatistiksel olarak kontrol durumunun devamının sağlanmasında, gereken müdahaleleri yapabilmek amacıyla kontrol şemalarının ve diğer istatistiksel analiz yöntemlerinin kullanılmasıdır (Yüksel, 2010: 278). Süreçlerde değişkenlik kaçınılmazdır ancak önemli olan problemlere neden olan değişkenlik ile kabul edilebilir değişkenliğin birbirinden ayrılmasıdır (Oral ve Yüksel, 2007: 232). SPC'nin temel amacı, süreçlerdeki değişkenliği azaltmaktır. Literatürde iki tip değişkenlikten bahsedilmektedir: özel değişkenlik ve genel değişkenlik.

Özel değişkenlik: Makine, insan, malzeme veya yöntem kaynaklı nedenlerle gerçekleşen değişkenliktir. SPC ile özel nedenlerin belirlenip ortadan kaldırılması amaçlanır.

Genel değişkenlik: Sürecin doğasında olan ve rassal olarak gerçekleşen değişkenliktir. Özel nedenler ortadan kaldırıldıktan sonra süreçte yalnızca genel nedenler kalır ve süreç bu hali ile kabul edilir.

Bir sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması, süreçte sadece genel nedenlerin var olduğunu ve özel nedenleri araştırmanın etkin olmayacağını ifade etmektedir (Oral ve Yüksel, 2007: 233). SPC, süreç performansını geliştirmek ve müşteri ihtiyaçlarını tatmin etmek için yapılacak işlerin temelini oluşturur ve aşağıdaki hedeflere sahiptir (Öztürk, 2009: 311):

- Süreç değişkenliğini azaltmak ve kontrol etmek
- Süreci sürekli iyileştirmek
- Süreçlerdeki kusurları, hurdayı ve yeniden işlemi azaltmak
- Süreci tahmin edebilmek
- Ürünü denetlemek
- Şirket içinde iletişimi geliştirmek
- Kalite geliştirmede aktif katılımı sağlamak
- Karar verme süreçlerine katılımı arttırmak
- İş prosedürlerini geliştirmek ve basitleştirmek
- Süreçleri gerçeklerle yönetmek

1.5.6.1 Kontrol Şemaları

Kontrol şemaları, SPC’de ölçülen verinin analizinde sıklıkla yararlanılan ortalama, değişim aralığı ve standart sapma istatistiklerinin izlenmesinde kullanılmaktadır (Pyzdek, 2003: 393). 1920’li yıllarda Dr. Walter Shewart tarafından iki tip değişkenliği (özel ve genel) birbirinden ayırmak üzere 3σ limitlerine dayanacak şekilde geliştirilmiştir (Gürsakal ve Oğuzlar, 2003: 174). Kontrol şemalarının temel amaçları; kontrol dışı davranışı belirlemek, kontrol dışı olma

durumunun nedenlerini belirlemek, probleme neden olan özel nedenleri ortadan kaldırmak ve sürecin dengeli olarak devamlılığını sağlamaktır (Yüksel, 2010: 279).

Kontrol şemaları, süreçte var olan sorunları gösterir, sorunlar hakkında ipuçları verir ve bir anlamda sürecin sesi olup mümkün olduğu kadar sürecin istikrarlı bir şekilde çalışıp çalışmadığını gösterir (Öztürk, 2009: 319). Kontrol şemaları, değişkenler için kontrol şemaları ve özellikler için kontrol şemaları olmak üzere iki başlıkta toplanmaktadır.

1.5.6.1.1 Değişkenler için Kontrol Şemaları

Değişkenler, ağırlık, hacim, en-boy ölçüsü gibi ölçülebilen ve rakamlarla ifade edilebilen özelliklerdir. Değişkenler için kontrol şemalarında, sürecin ortalaması ve değişim aralığı takip edilmektedir. Değişkenlerin takibinde genellikle kullanılan kontrol şemaları, $\bar{X}$ kontrol şeması ve R kontrol şemasıdır.

$\bar{X}$ ve R kontrol şemaları: $\bar{X}$ şemaları sürecin ortalamasındaki değişkenlikleri tanımlamak üzere kullanılır. R şemaları ise örnek aralığındaki değişimleri tanımlama amacıyla kullanılır (Doğan, 1991: 101). Bu iki şema birbirinin tamamlayıcısıdır, çünkü bir sürecin kontrol altında olduğunu söyleyebilmek için süreç, hem kabul edilebilir ortalama hem de ölçümlerin uygun aralığına sahip olmalıdır (Demir ve Gümüsoğlu, 1998: 677).

$\bar{X}$, genel ortalama ve $\bar{R}$, değişim aralığı ortalaması olmak üzere $\bar{X}$ ve R kontrol şemalarının parametreleri tablo 12’de verilmiştir. Formüllerde kullanılan ve alt örneklem büyüklüğüne göre değişen A_2 , D_3 ve D_4 sabit değerleri Ek 1’de verilmiştir. (ÜKL: Üst kontrol limiti, OÇ: Orta çizgi ve AKL: Alt kontrol limitidir).

Tablo 12: $\bar{X}$ ve R Kontrol Şemaları için Kontrol Limitleri

Kontrol şeması	Alt grup örneklem büyüklüğü	Kontrol limiti
$\bar{X}$ kontrol şeması	Sabit	$\bar{\bar{X}}$: Genel ortalama $\bar{R}$: Değişim aralığı ortalaması $\bar{U}KL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$ $OÇ_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$ $\bar{A}KL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$
R kontrol şeması	Sabit	$\bar{U}KL_R = D_4\bar{R}$ $OÇ_R = \bar{R}$ $\bar{A}KL_R = D_3\bar{R}$

1.5.6.1.2 Özellikler için Kontrol Şemaları

Özellikler için kontrol şemaları, sayılabilen verinin süreç değişimini analiz etmek için kullanılır. Sayılabilen veri, kusurlar, hata sayıları, kusurlular, adetler veya kusurlu yüzdesi, kusurlu sayısı, kusur sayısı olarak ifade edilebilir (Öztürk, 2009: 336). Değişkenler için kontrol şemalarından farklı olarak, ölçülemeyen özellikler için kontrol şemalarının hazırlanmasında veriler için sadece iyi-kötü, geçer-geçmez gibi iki değer alınabilir (Doğan, 1991: 98). Bu nedenle özellikler için kontrol şemaları, üretilen çıktının uygunluğunu ve uygunsuzluğunu denetlemede, kusur veya kusurlu sayılarını denetlemede ve kusur veya kusurlu yüzdesini denetlemede kullanılır (Öztürk, 2009: 336). Özellikler için genellikle p, np, c ve u kontrol şemaları kullanılmaktadır.

p ve np kontrol şemaları: Ürünlerin kusurlu olup olmadıkları belirlenebiliyorsa, kusur oranları hesaplanarak p şeması ile kontrolü sağlanır. Bazı durumlarda kusur oranı yerine kusur sayısı kullanılır. Böyle durumlarda np kontrol şeması kullanılır. p ve np kontrol şemalarının ikisi de süreç tarafından üretilen kusurlu parçaları belirlemek için kullanılsa da aralarında iki temel farklılık vardır (Öztürk, 2009: 337):

1- p kontrol şeması kusurlu yüzdesini belirlerken np kontrol şeması kusurlu sayısını belirler.

2- p kontrol şeması, alt gruplarda örneklem büyüklüğü değişken olsa dahi kullanılabilirken, np kontrol şeması sadece alt grup örneklem büyüklükleri sabit olduğunda kullanılabilir.

Tablo 13: p ve np Kontrol Şemaları için Kontrol Limitleri

Kontrol şeması	Alt grup örneklem büyüklüğü	Kontrol limiti
p kontrol şeması	Değişken	p: Kusurlu birim sayısı/kontrol edilen birim sayısı n: Örneklem büyüklüğü $\bar{U}KL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ $OC_p = \bar{p}$ $AKL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
np kontrol şeması	Sabit	$\bar{U}KL_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$ $OC_{np} = n\bar{p}$ $AKL_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$

p, kusurlu birim sayısının kontrol edilen birim sayısına oranı olmak üzere p ve np kontrol şemalarının parametreleri tablo 13’de verilmiştir.

c ve u kontrol şemaları: Bir süreçteki parça başına kusur sayısı incelendiğinde c kontrol şemalarından yararlanılmaktadır. Tek bir kusur parçanın reddedilmesine yeterli ise p kontrol şemalarından yararlanılabiliyorken, hedef, üretim birikimindeki kusur sayısını ölçmek ise c kontrol şemalarından yararlanılmalıdır (Demir ve Gümüsoğlu, 1998: 687). u kontrol şemaları ise parça veya parçalar başına ortalama kusurları belirlemek için kullanılır (Öztürk, 2009: 343). u kontrol şemaları alt grup örneklem büyüklüğü değişken olduğunda da kullanılabilir.

c, toplam kusur sayısı u, ortalama kusur sayısı olmak üzere c ve u kontrol şemalarının parametreleri tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14: c ve u Kontrol Şemaları için Kontrol Limitleri

Kontrol şeması	Alt grup örneklem büyüklüğü	Kontrol limiti
c kontrol şeması	Sabit	c: Toplam kusur sayısı $\bar{U}KL_c = \bar{c} + \sqrt{\bar{c}}$ $O\check{C}_c = \bar{c}$ $AKL_c = \bar{c} - \sqrt{\bar{c}}$
u kontrol şeması	Değişken	u: Ortalama kusur sayısı $\bar{U}KL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ $O\check{C}_u = \bar{u}$ $AKL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

1.5.7 Ölçüm Sistemi Analizi

Bir ölçme sistemi, operatörlerin ölçüm sonuçları tekrarlanabilir ve operatörler arası sonuçlar yeniden üretilebilir olduğu takdirde tutarlı olabilir (Gürsaka1 ve Oğuzlar, 2003: 147). Bu nedenle, günümüz ölçüm sistemleri kalibrasyonun ötesine geçmiştir (Pyzdek, 2003: 325). İşletmelerin çoğu kalibrasyon çalışması yaparak ölçü aletlerinin doğruluğunu kontrol ederler ancak gerekli olmasının yanında kalibrasyon tek başına hiçbir zaman yeterli değildir. Kalibrasyonla birlikte parça, zaman ve operatör kaynaklı değişiklikleri de içeren ölçüm sistemi analizi (Gage R&R) çalışması yapılmalıdır (S.P.A.C, 2003: 93-94).

Yeniden üretilebilirlik (Reproducibility): Aynı parça üzerindeki bir parametrenin, farklı kontrol elemanlarınca birçok defa ölçüldüğünde ortaya çıkan değişkenliktir (S.P.A.C, 2003: 95). Şekil 9’da görsel olarak ifade edilmiştir.

Şekil 10: Yeniden Üretilebilirlik



Kaynak: Gürsakal ve Oğuzlar, 2003: 145.

Yinelenebilirlik (Repeatibility): Aynı parça üzerindeki bir parametrenin, aynı ölçüm cihazı kullanılarak, bir kontrol elamanı tarafından birçok defa ölçüldüğünde ortaya çıkan değişkenliktir (S.P.A.C, 2003: 95). Şekil 10'da görsel olarak ifade edilmiştir.

Şekil 11: Yinelenebilirlik



Kaynak: Gürsakal ve Oğuzlar, 2003: 144.

Ölçüm sistemi analiz (Gage R&R) adımları bir örnek üzerinde açıklanacaktır (Pyzdek, 2003: 329-333). Üretim sürecinden seçilen on parça, iki operatöre üçer kez ölçtürülür. Tekrar eden ölçümler sırasında aynı parçaların sırası değiştirilerek

operatörlere ölçtürülür ve bu durumdan operatörlerin haberi olmaması sağlanır. Ölçümler tamamlandıktan sonra her operatörün tekrarlı ölçümlerinin değişim aralığı (R) ve değişim aralığı ortalaması ($\bar{R}$) ile her operatörün tüm ölçülerinin ortalaması ($\bar{X}$) hesaplanır. Buraya kadar yapılanlar tablo 15’de özetlenmiştir.

Tablo 15: Ölçüm Sistemleri Analizi Veri Formu

Örnek	Operatör 1			Değişim aralığı
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	
1	12,6	12,7	12,8	0,1
2	12	11,9	12	0,1
3	13,2	13,2	13,1	0,1
4	12,2	12,2	12,3	0,1
5	12,6	12,7	12,7	0,1
6	13,2	13,1	13,1	0,1
7	12,5	12,4	12,6	0,2
8	12,5	12,8	12,7	0,3
9	12,9	12,7	12,9	0,2
10	13,4	13,6	13,5	0,2
Toplam	127,1	127,3	127,7	1,5
Örnek	Operatör 2			Değişim aralığı
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	
1	12,6	12,8	12,7	0,2
2	12,3	12	12	0,3
3	12,6	12,8	12,6	0,2
4	12,4	12,1	12,1	0,3
5	12,7	12,8	12,9	0,2
6	13	12,9	13	0,1
7	12,5	12,4	12,4	0,1
8	12,8	12,8	12,7	0,1
9	12,5	12,7	12,6	0,2
10	13,9	13,8	13,8	0,1
Toplam	127,3	127,1	126,8	1,8

$$Toplam X_1 = 382,1$$

$$\bar{X}_1 = 12,736$$

$$\bar{R}_1 = 0,15$$

$$Toplam X_2 = 381,2$$

$$\bar{X}_2 = 12,706$$

$$\bar{R}_2 = 0,18$$

Değişim aralığı kontrol limitleri belirlenerek tüm değişim aralıklarının kontrol limitleri dahilinde olup olmadığı kontrol edilir. Kontrol dışı nokta yok ise analize devam edilir. Tüm değişim aralıklarının limitler dahilinde olması, ölçüm sisteminin değişkenliğinin sabit olduğunu yani değişkenliğe etki eden özel nedenlerin olmadığını gösterir. Aşağıdaki formül (1.2) aracılığı ile değişim aralığı üst kontrol

limiti belirlenir ve tüm değişim aralıklarının bu limitin altında olduğu tablodaki değerlerden tespit edilir.

$$\bar{ÜKL}_R = D_4 \bar{R} = 2,57 * 0,165 = 0,424 \dots \dots \dots (1.2)$$

Bu noktadan sonra değişim aralığı ortalaması d_2 katsayısına (Ek 1) bölünerek yinelenebilirlik standart sapması (σ_e) hesaplanır. Bu değer, 5,15 katsayısı (Standart normal dağılımın %99'unu kapsayan Z ordinatı) ile çarpılarak yinelenebilirlik hesaplanır. Hesaplama, formül (1.3) ile verilmiştir.

$$\sigma_e = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,165}{1,693} = 0,097 \Rightarrow \text{Yinelenebilirlik} = 5,15\sigma_e = 0,500 \dots \dots \dots (1.3)$$

Her operatörün tüm ölçümlerinin ortalamasının farkının (R_0) d_2 katsayısına bölünmesi ile yeniden üretilebilirlik standart sapması (σ_0) hesaplanır. Bu değer, 5,15 ile çarpılarak yeniden üretilebilirlik hesaplanır. Hesaplama, formül (1.4) ile verilmiştir.

$$\sigma_0 = \frac{R_0}{d_2} = \frac{12,736 - 12,706}{1,693} = 0,018$$

$$\Rightarrow \text{Yeniden üretilebilirlik} = 5,15\sigma_0 = 0,093 \dots \dots \dots (1.4)$$

Yinelenebilirlik ve yeniden üretilebilirlik değerlerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak toplam değişkenlik standart sapması (σ_m) hesaplanır. Bu değer, 5,15 ile çarpılarak toplam değişkenlik hesaplanır. Hesaplama formül (1.5) ile verilmiştir.

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_0^2} = \sqrt{(0,500^2) + (0,093^2)} = 0,51 \Rightarrow 5,15\sigma_m = 2,63 \dots \dots \dots (1.5)$$

1.5.8 Serpilme Diyagramı

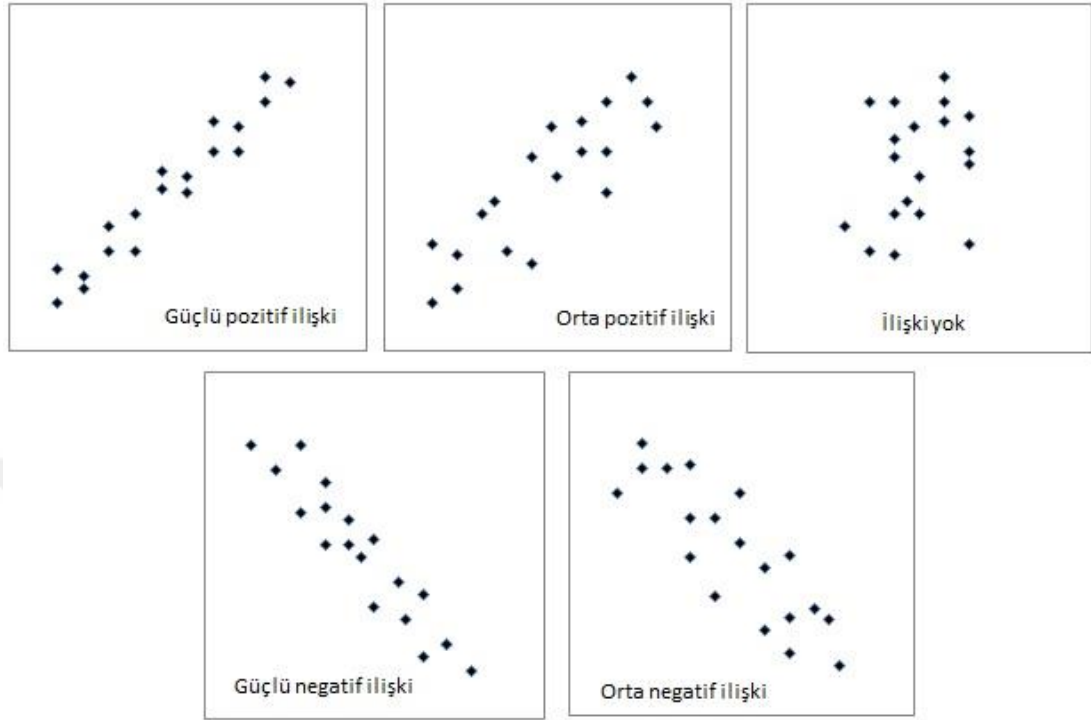
Serpilme diyagramları, hata trendlerini tespit etmek, en iyi operasyon bölgelerini belirlemek ve sebep sonuç ilişkilerini ortaya çıkarmak için veri setine farklı açılardan bakma imkanı sağlamaktadır (Kolarik, 1995: 182). Bu amaçla, problemin en önemli nedenlerini ortaya çıkarmada, sebepler ve sonuçlar arasındaki ilişkinin derecesini belirlemek için kullanılırlar (Öztürk, 2009: 379). Bu iki faktörden (sebeup-sonuç) biri bağımsız değişkendir ve genellikle yatay eksen de gösterilir, diğeri ise bağımlı değişkendir ve genellikle dikey eksen de gösterilir (Pyzdek, 2003: 496).

Sebeup sonuç ilişkilerinin değ erlendirildiğ i serpilme diyagramlarında, bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde bir değ işikliğ e sebeup olduğ u varsayılır (Pyzdek, 2003: 497). Örneğ in, çalışma saatleriyle iş kazaları, üretim miktarı ile enerji tüketimi, kesim hızıyla parçanın boyu gibi faktörler arasındaki ilişkide böyle bir varsayımdan bahsedilebilir (Öztürk, 2009: 379). Serpilme diyagramının oluşturulmasında aşağıdaki adımlardan yararlanılabilir (Pyzdek, 2003: 497):

- 1- Gözlemler gerç ekleştirilerek 20 veya daha büyük sayıda veri çifti oluşturulur
- 2- En büyük ve en küçük bağımsız ve bağımlı değişkenler bulunur
- 3- Yatay ve dikey eksenler oluşturulur ve böylece en büyük ve en küçük değ erler işaretlenir
- 4- Tüm veri çiftleri grafik üzerine işaretlenir

Serpilme diyagramlarında çeş itli sayıda ilişkiler ortaya çıkarılabilir. Bunlardan 5 tanesi temel olarak kabul edilebilir. Güçlü pozitif ilişki, orta pozitif ilişki, ilişki yok, güçlü negatif ilişki ve orta negatif ilişki olarak adlandırılan temel ilişkiler şek il 11’de verilmiştir.

Şekil 12: Serpilme Diyagramı Temel İlişkiler



Kaynak: Pyzdek, 2003: 5001.

1.5.9 Histogram

Histogram, sürecin ortalamasını ve yeterliliğini belirlemede çok etkili olan ve çubuk grafiğinde verinin frekansını gösteren bir araçtır (Taghizadegan, 2006: 118). Histogramlardan kalite konularının özetlenmesinde ve analiz edilmesinde, verilerin karşılaştırılmasında, süreçteki düzensizliklerin belirlenmesinde, kalite karakteristiklerinin davranışının tahmin edilebilmesinde ve verilerin dağılımının belirlenmesinde yararlanılmaktadır (Yüksel, 2010: 250). Bir histogram oluşturulurken aşağıdaki adımlar takip edilmelidir (Pyzdek, 2003: 372-373):

- 1- Veri setindeki en büyük ve en küçük değer bulunur.
- 2- En büyük değerden en küçük değer çıkarılarak değişim aralığı belirlenir.
- 3- Histogram için kaç sütun kullanılacağı seçilir. Pratik olarak örnek büyüklüğünün karekökü alınarak belirlenebilir.
- 4- Her bir sütunun genişliği belirlenir.

5- Sütunların sınırları belirlenir. Sütun sınırları ham verideki ondalık kısımdan bir adet fazla ondalık kısıma sahip olmalıdır. İlk sütunun alt sınırı, veri setindeki en küçük değerden daha küçük olmalıdır. Diğer sütunların sınırları, bir önceki sınıra sütun genişliği eklenerek belirlenir.

6- Ham veri incelenerek her sütuna hangi değerlerin denk geldiği belirlenir.

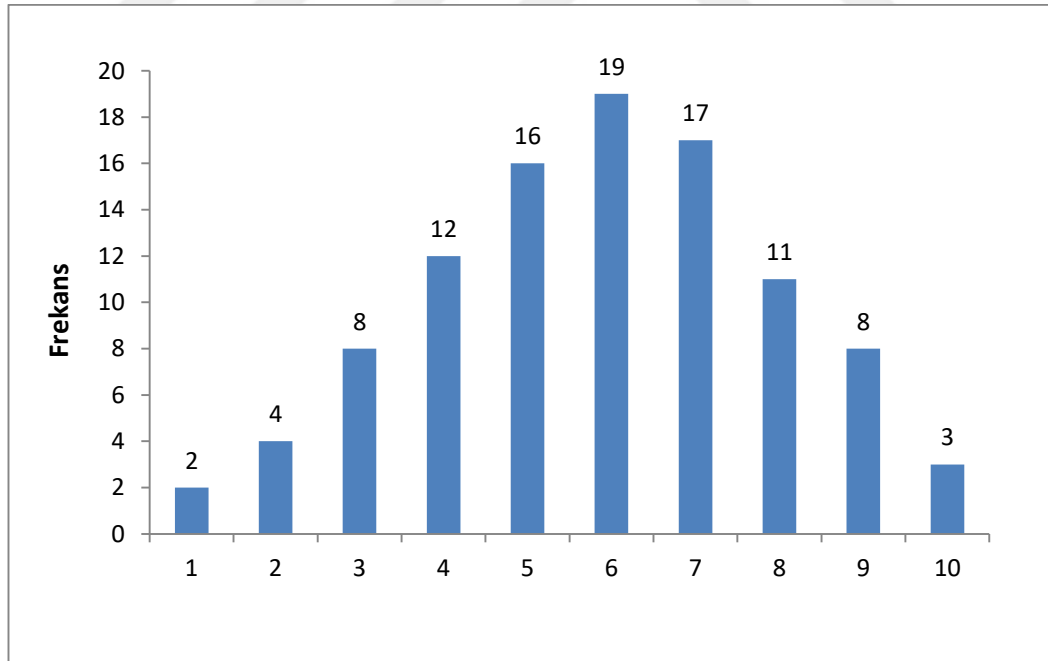
7- Her sütuna denk gelen değerlerin kaç adet olduğu belirlenir. Böylece frekans belirlenmiş olur.

8- Dikey ekseninde her sütunun frekansı olacak ve yatay ekseninde sütun sınırları olacak şekilde grafik hazırlanır.

9- Sütun frekanslarını gösteren çubuklar grafik üzerine çizilir.

Bir parçanın kritik bir ölçüsüne ilişkin verilerden (örnek büyüklüğü 100) hazırlanan histogram şekil 12’de verilmiştir.

Şekil 13: Histogram Örneği



1.5.10 Süreç Yeterlilik İndeksleri

Süreç yeterliliği iki aşamalı bir süreçtir (Pyzdek, 2003:467):

- Sürecin belirli bir zaman diliminde istatistiksel olarak kontrol altına alınması
- Süreç performansının spesifikasyon limitleriyle karşılaştırılması

Bir süreçteki özel nedenler ortadan kaldırılıp süreç istatistiksel olarak kontrol altına alındıktan sonra sürecin yeterliliğinin ölçülmesi gerekmektedir. Yeterlilik ölçümleri, süreç çıktılarının ürün spesifikasyonlarını karşılama derecesini belirler ve iyileştirme çalışmaları için yol gösterici olur (Yüksel, 2010: 297). Tüketici spesifikasyonlarının yüksek öneme sahip olduğu günümüz rekabet ortamında, işletmeler bu spesifikasyonlara göre ürünler üretmek ve bu yeteneğinin sürekliliğini takip etmek durumundadır. Bu amaçla, yaygın olarak C_p , C_{pk} ve C_{pm} yeterlilik indeksleri kullanılmaktadır. Bu indeksler, bir sürecin potansiyelini ve performansını belirlemede genel ve kolay anlaşılır bir lisan sağlar (Kane, 1986: 52).

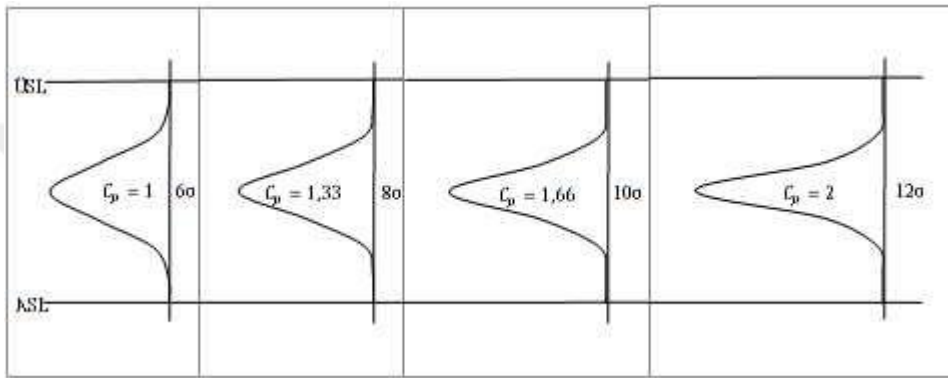
1.5.10.1 Süreç Potansiyel İndeksi C_p

Süreç potansiyel indeksi (C_p) izin verilen süreç yayılımının gerçek süreç yayılımına oranı olarak ifade edilmekte ve aşağıdaki gibi formüle edilmektedir (Kane, 1986: 41). C_p indeksi aşağıdaki formül (1.6)'dan anlaşılacağı gibi sadece süreç yayılımını analiz eder. Dolayısıyla süreç değişiminin spesifikasyonlarla olan ilişkisini yorumlamamızı sağlar. 3σ seviyesinde yürütülen süreçlerde C_p indeksi 1 ($(3\sigma - (-3\sigma))/6\sigma = 1$) olarak hesaplanacaktır. Bir 6σ sürecinde ise C_p indeksi 2 olacaktır. C_p indeksinin 1 olması sürecin yeterli olduğunu gösterecektir (Pyzdek, 2003: 473). Kabul edilebilir en küçük C_p indeksi olarak 1,33 (4σ) önerilir ancak 6σ programlarında hedef, $C_p=2$ değerine ulaşmaktır (Breyfogle III, 1999: 196).

$$C_p = \frac{\text{İzin verilen süreç yayılımı}}{\text{Gerçek süreç yayılımı}} = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sigma} \dots \dots \dots (1.6)$$

Şekil 13’de C_p indeksinin değişik süreç yayılımları için grafik gösterimleri verilmiştir. Spesifikasyon aralığı 6 standart sapma olan bir sürecin süreç potansiyel indeksi 1’e eşit olacaktır. Süreçlerdeki değişkenlik azaltılıp standart sapma değeri düşürüldüğü zaman süreç eğrisi daralır ve kararlılığı artar. Spesifikasyon aralığı 12 standart sapma olduğunda, süreç potansiyel endeksi 2’ye eşit olacaktır.

Şekil 14: Çeşitli Süreç Yayılımları için C_p İndeksleri



Kaynak: Kane, 1986: 43.

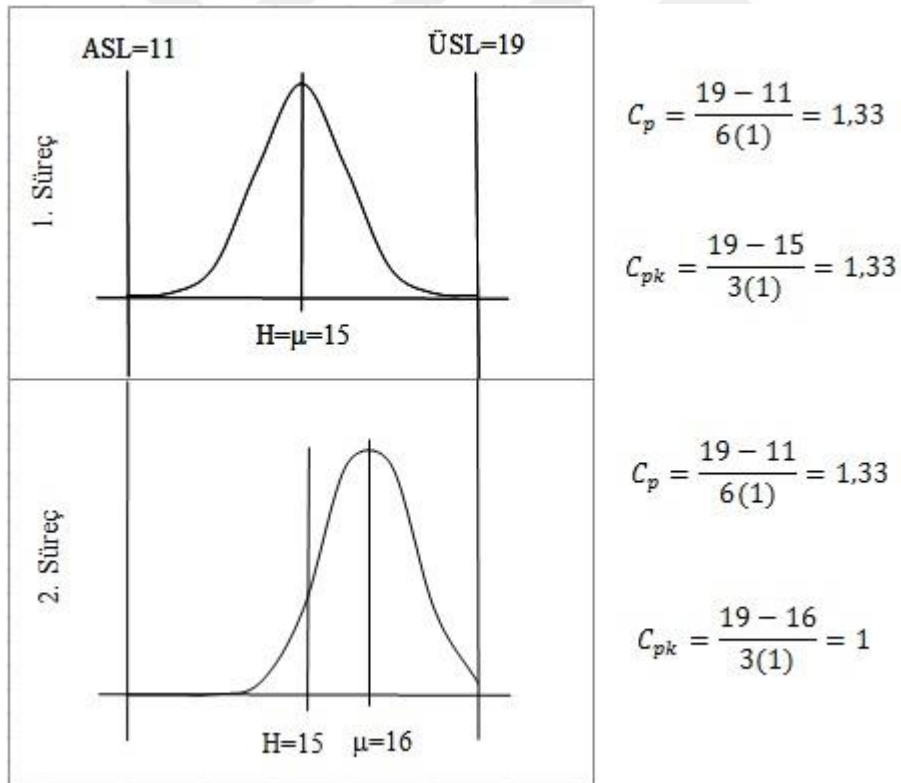
1.5.10.2 Süreç Performans İndeksi C_{pk}

C_{pk} indeksi C_p indeksi ile ilişkilidir ancak süreç ortalamasından faydalanır ve süreç performansının bir ölçütü olarak değerlendirilebilir (Kane, 1986: 45). Potansiyel süreç performansını ölçen C_p indeksinde sadece süreç yayılımına göre değerlendirme yapılırken, C_{pk} indeksinde süreç ortalamasına göre bulunan konum da önem kazanmaktadır. C_p indeksinde, aynı indeks değerine sahip süreçler, süreç ortalamaları birbirlerinden farklı olduğu için aslında aynı performansta değildirler. C_{pk} indeksi matematiksel olarak aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right] \dots \dots \dots (1.7)$$

Şekil 14’de aynı C_p değerini veren farklı performanstaki iki süreç gösterilmiştir. Her iki sürecin standart sapması 1 olduğu için yayılımları birbirleriyle aynıdır. Dolayısıyla süreç yayılımının spesifikasyon aralığına oranını veren C_p indeksi iki süreç için de 1,33 olarak hesaplanır. 1. Süreçte, süreç ortalaması (μ) hedef değerle (H) çakıştığı için C_{pk} indeksi de 1,33 değerini vermektedir. 2. Süreçte ise süreç ortalaması hedef değerden sapma gösterir ve süreç çıktılarının bir kısmı ÜSL’nin dışında kalmaktadır ve C_{pk} indeksi 1 olarak hesaplanır. Bu nedenle, sadece süreç yayılımını (C_p) değerlendirerek süreçlerin yeterli olduğunu söylemek yanlış olmaktadır. Süreçlerin yayılımı kadar ortalamasının yerleşimi de yeterliliği konusunda önemlidir.

Şekil 15: Farklı Süreç Ortalamalarıyla C_p ve C_{pk} İndekslerinin Karşılaştırılması



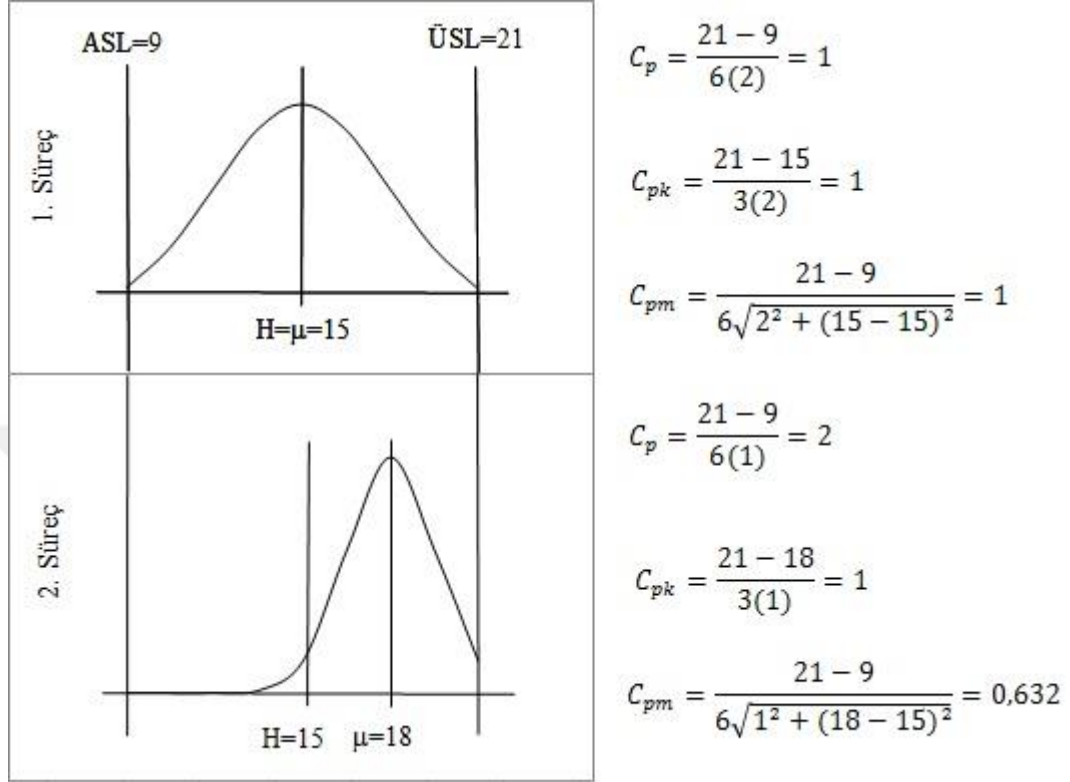
1.5.10.3 C_{pm} İndeksi

C_{pm} indeksi süreç ortalamasının yerleşimi hakkında bilgi sağlamaktadır. C_p ve C_{pk} indeksleriyle süreç yerleşiminin tam olarak belirlenememesinin eksikliği sebebiyle Taguchi tarafından ortaya atılan bu indeks daha sonra başka yazarlar tarafından C_{pm} olarak adlandırılmıştır (Chan ve diğerleri, 1988; Breyfogle III, 1999: 199). C_{pm} indeksi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$C_{pm} = \frac{\bar{USL} - ASL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - H)^2}} \dots \dots \dots (1.8)$$

Şekil 15’de süreç ortalamaları ve yayılımları farklı iki süreç gösterilmiştir. Birinci sürecin yayılımı daha büyük olduğu için C_p indeksi ikinci sürece göre düşüktür. İkinci sürecin ortalaması hedef değerden kaçık olsa da süreç yayılımları da ters oranda birbirlerinden farklı olduğu için iki sürecin C_{pk} indeksleri birbirine eşittir. Böyle durumlarda süreç yerleşimini, hedef değer ile süreç ortalaması arasındaki farkı da dikkate alarak değerlendiren C_{pm} indeksi kullanılabilir. C_{pm} indeksi hesaplamalarına göre birinci sürecin yeterliliği daha yüksektir. C_{pm} indeksiyle, süreç yayılımı daha geniş olmasına karşılık ortalaması hedef değerde oluşan birinci sürecin daha yüksek yeterliliğe sahip olduğu belirlenebilmiştir.

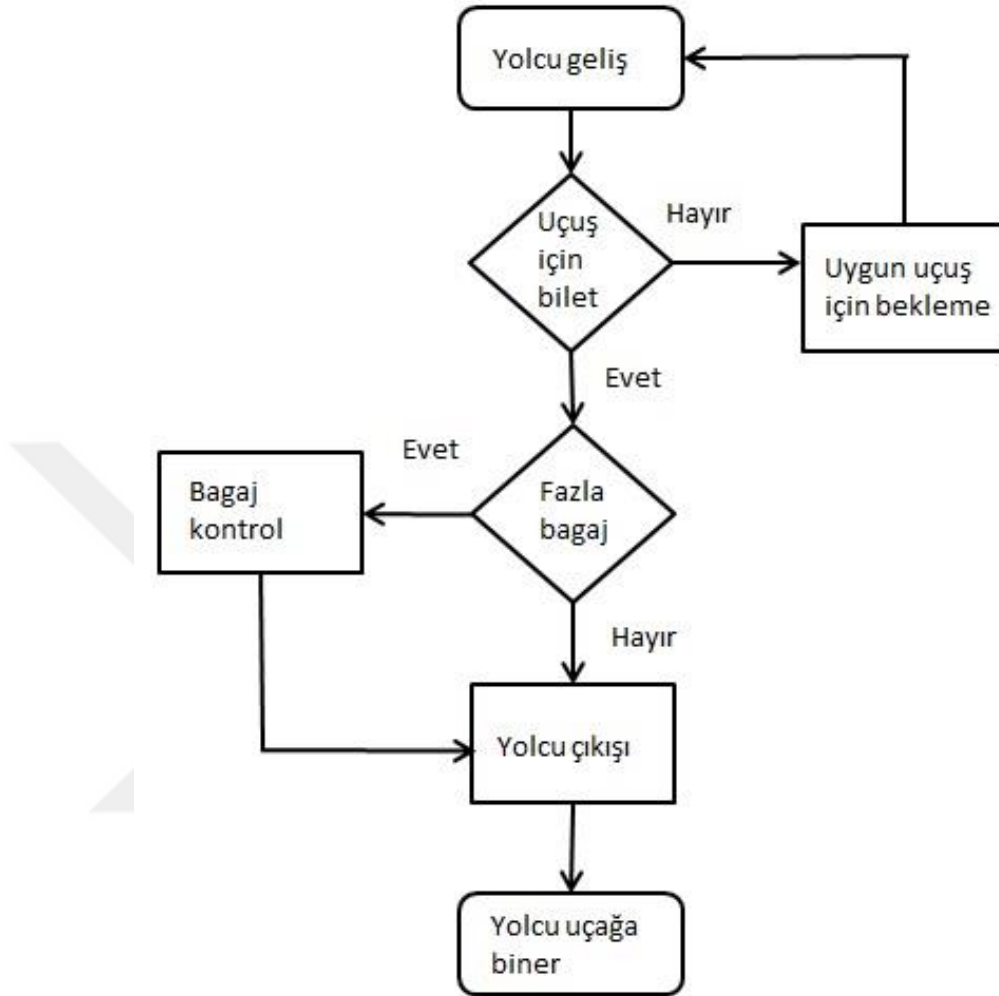
Şekil 16: Farklı Süreç Ortalamaları ve Yayıllımlarıyla C_p , C_{pk} ve C_{pm} İndekslerinin Karşılaştırılması



1.5.11 Akış Diyagramı

Akış diyagramları grafiksel olarak bir sistemin girdilerini, aksiyonlarını ve çıktılarını gösteren basit bir araçtır (Pyzdek, 2003: 254). Süreçlerin görsel bir gösterimi olarak kullanılan akış şemaları, takım üyelerine problemlerin meydana gelebileceği noktaları göstermede yardımcı olur (Oral ve Yüksel, 2007: 228). Pek çok süreç iyileştirme projesinin ilk adımı, sürecin akış diyagramının olduğu gibi çıkarılmasıdır (Foster, 2004: 277). Akış diyagramı oluşturulurken izlenecek ana adımlar aşağıda verilmiştir (Dale ve diğerleri, 1994: 383).

Şekil 17: Akış Diyagramı Örneği



Kaynak: Oral ve Yüksel, 2007: 229.

-Başlangıç ve bitiş noktaları dahil olmak üzere süreç ve sürecin sınırları tanımlanır.

-Diyagram yöntemine, tipine ve kullanılacak sembollere karar verilir.

-Diyagramı çıkarılacak sürecin detaylarına karar verilir.

-Kararlaştırılan yöntem kullanılarak sıra ile aşamalar tanımlanır.

-Süreçteki çalışanlar davet edilerek doğruluğu kontrol edilir.

Bir havayolu şirketine ait fazla bagaj ile uçağa binmeyi önlemeye yönelik oluşturulan akış diyagramı şekil 16’da verilmiştir.

1.5.12 SIPOC Diyagramı

SIPOC (S:Tedarikçi, I:Girdi, P:Süreç, O:Çıktı, C:Müşteri) diyagramı, süreçlerin tedarikçilerini, girdilerini, çıktıları ve müşterilerini içerecek şekilde hazırlanan süreç haritalarıdır (Yüksel, 2010: 276). SIPOC diyagramının hazırlanmasına süreç hakkında bilgisi olan kişilerle başlanır ve bir beyin fırtınası oturumu ile SIPOC diyagramı oluşturulur (Pyzdek, 2003: 389). SIPOC diyagramının kısımlarının nasıl oluşturulacağına dair bilgiler şekil 17'deki örnek diyagramda gösterilmiştir (Yüksel, 2010: 276). SIPOC diyagramını oluşturmadaki amaçlar aşağıda verilmiştir (Taghizadegan, 2006: 114-115):

- Süreç iyileştirme projesine başlamadan önce ilgili tüm unsurları ve ihtiyaçları tanımlamak
- Süreç sınırlarını ortaya çıkarmak (Girdiler ve çıktılar)
- Veri toplama kaynaklarını haritalamak
- İyileştirme fırsatlarını tanımlamak

Şekil 18: SIPOC Diyagramı Örneği

Tedarikçiler	Girdiler	Süreç	Çıktılar	Müşteriler
-Ham madde tedarikçileri -Ekipman tedarikçileri -İnsan kaynakları bölümü -Planlama bölümü	-Ham maddeler -Ekipman -İşgücü -Üretim planı	Ürünün üretimi	-Son ürün -Müşteri şikayetleri	-Son müşteriler -Kalite bölümü

Kaynak: Yüksel, 2010: 276.

1.5.13 Kalite Fonksiyon Göçerimi

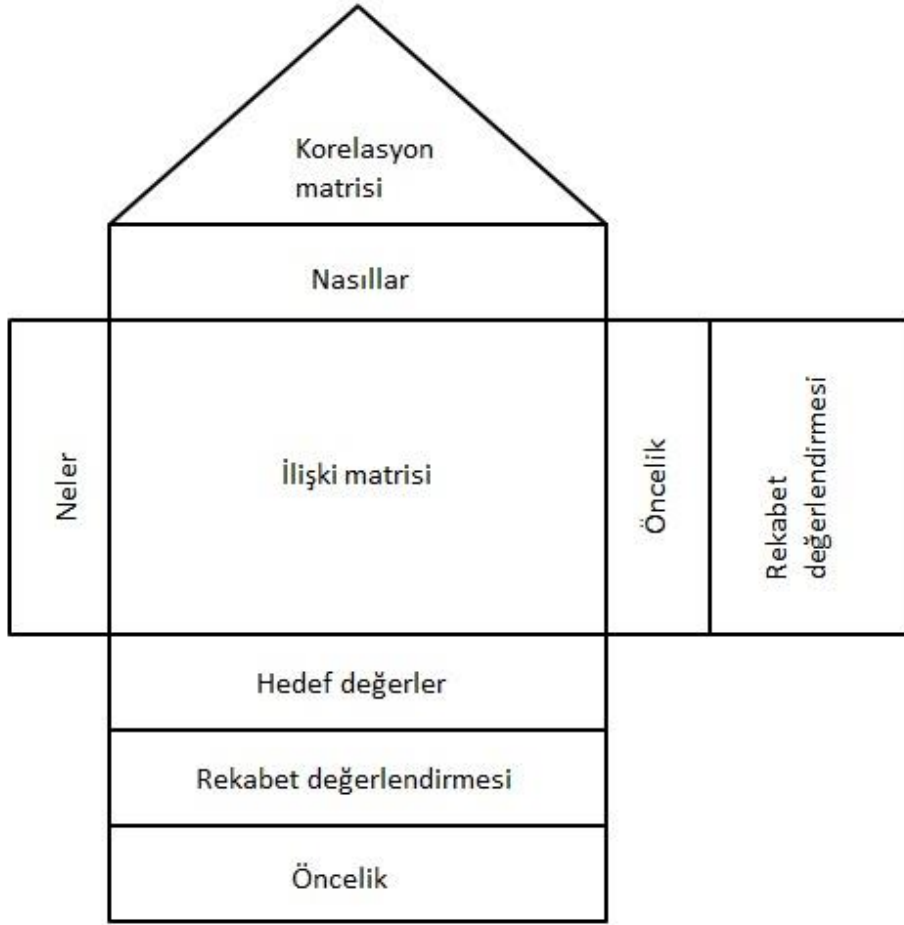
Kalite Fonksiyon Göçerimi (QFD), müşterilerin isteklerini dinleyip ne istediklerini kavradıktan sonra, müşteri isteklerini mevcut kaynaklarla en iyi şekilde karşılayabilmenin belirlenmesi için mantıksal bir sistemdir (Gürsakar ve Oğuzlar, 2003: 163). QFD, belirlenecek gerekliliklerin temelini oluşturacak olan müşterinin sesiyle başlamakta ve şirketler, bu sesi mühendislik ve üretim süreçlerine taşıyabilmektedir (Pyzdek, 2003: 121; Gürsakar ve Oğuzlar, 2003: 163). Dolayısıyla, bu yaklaşımın temelinde, ürünlerin ve hizmetlerin müşterilerin istekleri ve beklentileri doğrultusunda tasarlanması bulunmaktadır (Oral ve Yüksel, 2007: 54).

QFD bir ürünün kavramsal halinden tasarımına, üretiminden dağıtımına ve kullanımına ve son olarak beklenen ömrünü tamamlamasına kadar süren yaşam döngüsünü bir araya getiren bir süreçtir (Burn, 1994: 411). QFD, müşteri ihtiyaçlarını ve isteklerini belirleyerek bunları teknik ve ölçülebilir özelliklere çevirmede kullanılabilecek yapılandırılmış bir yöntem olarak da düşünülebilir. Bu bağlamda, QFD aşağıdaki üç soruyu cevaplamaktadır (Gürsakar ve Oğuzlar, 2003: 163):

- 1.Müşteri hangi özellikleri istemektedir?
- 2.Bu ürün hangi fonksiyonları yerine getirmelidir?
- 3.Elimizdeki kaynaklarla müşterinin isteklerini en iyi şekilde nasıl sağlayabiliriz?

QFD yaklaşımı, kalite evi olarak adlandırılan bir matris aracılığı ile uygulanır. Yaygın olarak kullanılan bir kalite evi tasarımı şekil 18’de gösterilmiştir (Pyzdek, 2003: 122). Kalite evi, tasarım, üretim ve pazarlama bölümleri arasında planlama ve iletişime imkan sağlayan kavramsal bir şema olarak tanımlanabilir (Yüksel, 2010: 258).

Şekil 19: Kalite Evi



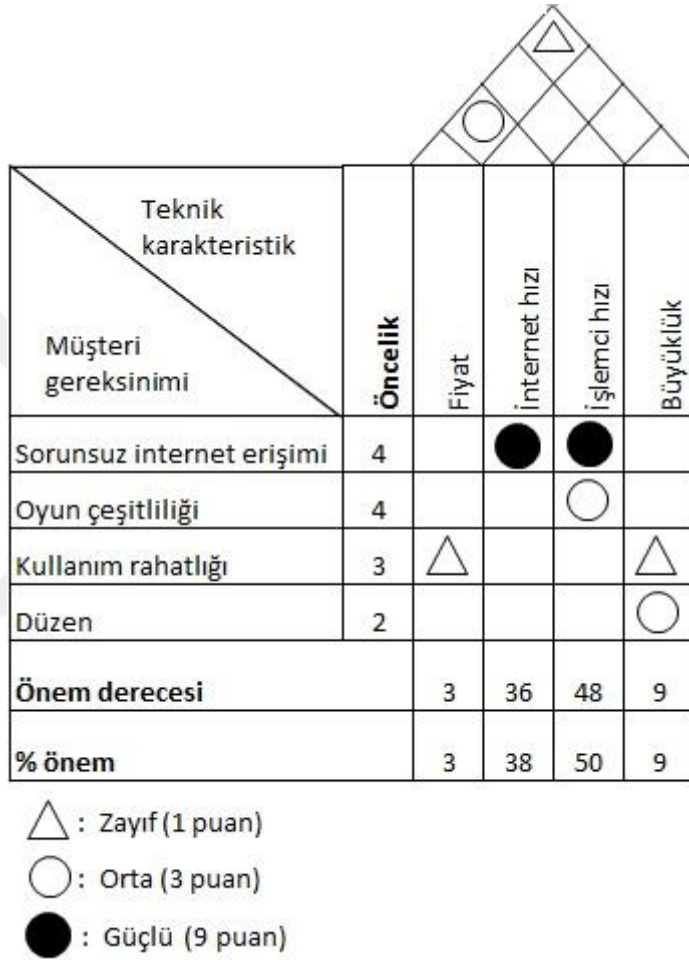
Kaynak: Pyzdek, 2003: 122.

Şekil 18’de görüldüğü gibi kalite evi, neler, nasıllar, ilişkiler ve ne kadar olmak üzere dört temel kısma sahiptir (Oral ve Yüksel, 2007: 55). Neler kısmında müşteri istekleri, nasıllar kısmında ürünün ya da hizmetin özellikleri, ilişkiler kısmında ilk iki kısmın ilişkiler matrisi ve ne kadar kısmında ise elde edilen sayısal sonuçlar bulunmaktadır. Temel kısımların dışında, ürün veya hizmetin özelliklerinin kendi arasındaki korelasyonu ve müşteri ihtiyaçlarını karşılamada rakiplerin durumu da kalite evi matrisinde bulunmaktadır.

Bir internet kafe işletmesine ait basit bir kalite evi örnek olarak şekil 19’da verilmiştir. Buna göre müşteri gereksinimi, sorunsuz internet erişimi, oyun çeşitliliği, kullanım rahatlığı ve düzendir. İnternet kafenin teknik karakteristikleri ise fiyat, internet hızı, işlemci hızı ve büyüklüktür. Sorunsuz internet erişimi ile internet hızı

ve işlemci hızı arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Tüm ilişkiler belirlendikten sonra en yüksek puanın işlemci hızına ait olduğu tespit edilmiştir. Böylece öncelikle iyileştirilmesi gereken nokta işlemci hızı olarak belirlenmiştir.

Şekil 20: İnternet Kafe İşletmesi için Kalite Evi



1.5.14 Yakınlık Diyagramı

Yakınlık diyagramı, kapsamlı bir problem ile ilgili pek çok görüşü ve düşüncüyü organize etmeye yarayan bir araçtır. Yakınlık diyagramında fikirler benzer kategoriler içinde sınıflandırılırlar (Yüksel, 2010: 251). Yakınlık diyagramı aşağıdaki aşamalar izlenerek oluşturulur (Kolarik, 1995: 144):

- 1- Bir problem veya fırsat olarak ifade edilebilen tema veya amaç belirlenir
- 2- Anlatılan veri toplanır
- 3- Anlatılan veri kartlara aktarılır
- 4- Kartlar mantıksal gruplara ayrılır
- 5- Tema veya amacın doğasına uygun olarak kart grupları etiketlenir
- 6- Yakınlık diyagramı oluşturulur
- 7- Sonuçlar sunulur

Yakınlık diyagramının kullanılma amaçları aşağıda verilmiştir (Taghizadegan, 2006: 110-111). Ayrıca, bir pizza restoranının evlere pizza teslim hizmeti için örnek bir yakınlık diyagramı şekil 20’de verilmiştir (Yüksel, 2010: 251).

- Büyük fikirleri açığa çıkarmak
- Beynin yaratıcı kısmını uyarmak
- Fikirler, çözümler ve problemler için beyin fırtınası gerçekleştirmek
- Fikirleri 5 ila 10’lu gruplara ayırmak ve sınıflandırmak
- Her bir grup için özet oluşturmak

Şekil 21: Yakınlık Diyagramı Örneği

Ürün	Hizmet	Maliyet	Özellikler
Ekstra değer Sıcak teslim	En fazla 30 dakika bekleme Nazik personel	Düşük maliyet Teslim için ayrıca ücret olmaması	Çeşidin fazla olması Kupon sistemi ile çalışması

Kaynak: Yüksel, 2010: 251.

1.5.15 İlişkiler Diyagramı

İlişkiler diyagramı, yakınlık diyagramının oluşturulmasından sonra karşılaşılan farklı problemler arasındaki ilişkilerin anlaşılmasında yararlı olmaktadır

ayrıca bir problemin çözümüne ulaşmada odaklanılacak en önemli konuların tanımlamasında kullanılmaktadır (Foster, 2004: 297). İlişkiler diyagramı, üst düzey fikirleri ortaya çıkarmak ve üst düzey bir strateji tasarlamak istediğimizde kullanıldığında ve aynı zamanda başarıyı sağlamak adına fikir birliği ortamı oluşturmak için kullanıldığı zaman iyi bir araçtır (Kolarik, 1995: 144). Bu amaçla, ilişkiler diyagramı aşağıdaki hususları sağlamaya çalışır (Taghizadegan, 2006: 111):

-Karmaşık problem, sistem veya durumdaki tüm faktörleri grafik olarak göstermek

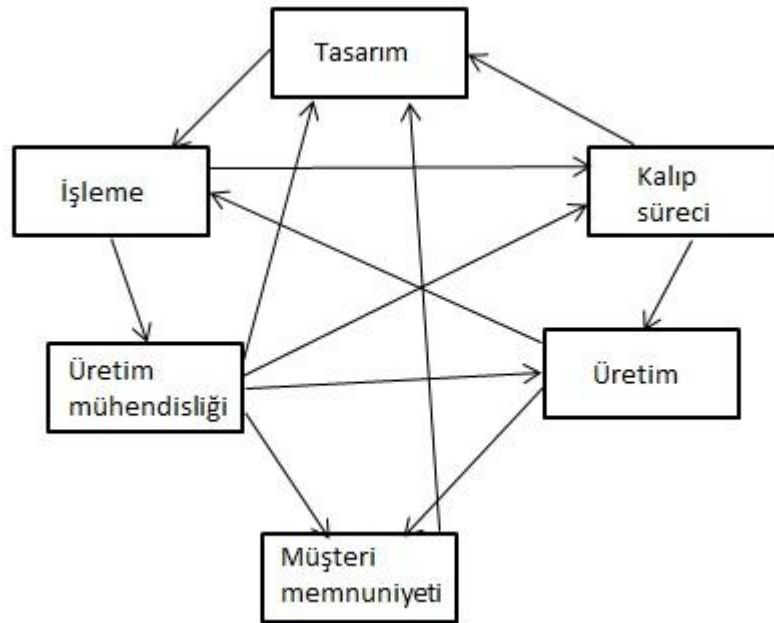
-Sorunlar arasındaki sebep-sonuç ilişkileri matrisini tanımlamak, analiz etmek ve sınıflandırmak

-Etkin problem çözümü için kritik çıktıları belirlemek

-Karşılıklı ilişkiler diyagramının son halini çizmek ve en büyük faktörleri ve çıktıları tanımlamak

Enjeksiyonlu kalıplama üretimi için örnek bir ilişkiler diyagramı şekil 21’de verilmiştir (Taghizadegan, 2006: 112).

Şekil 22: İlişkiler Diyagramı Örneği



Kaynak: Taghizadegan, 2006: 112.

1.5.16 Ağaç Diyagramı

Ağaç diyagramları, aşama aşama daha çok detaya inecek şekilde fikirlerin bölünmesi ve katmanlara ayrılması için kullanılmaktadır. Amacı, büyük bir fikri veya problemi küçük bileşenlerine ayırmaktır. Böylece fikrin anlaşılması veya problemin çözülmesi kolaylaşacaktır (Pyzdek, 2003: 265). Ağaç diyagramı aşağıdaki aşamalar izlenerek oluşturulur (Foster, 2004: 298):

-Yakınlık diyagramındaki ana kartlar toplanır ve en önemli sorunu oraya koyan ana kart seçilir.

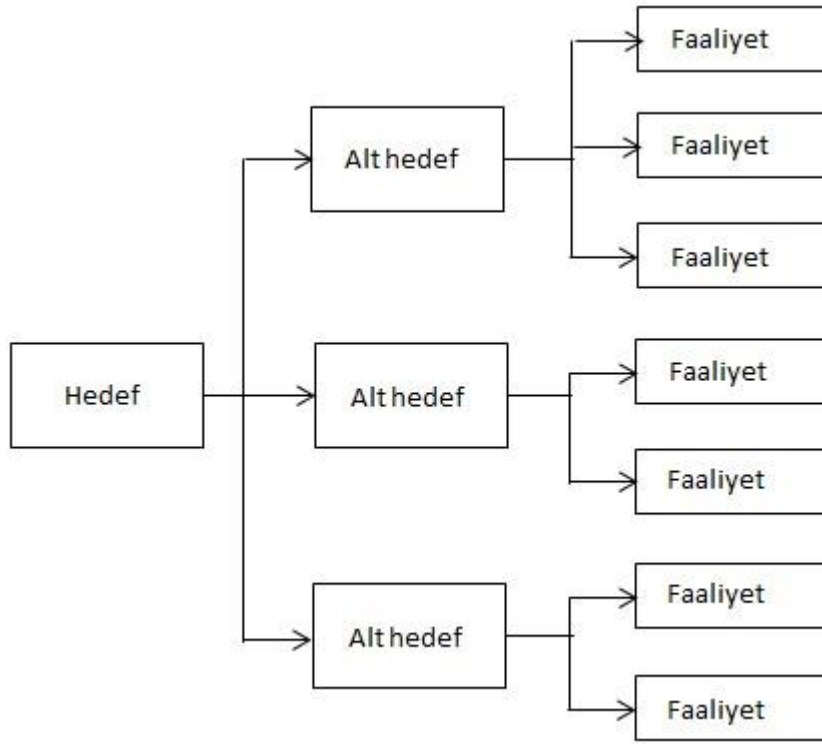
-Amaç ifadesi belirlendikten sonra “bu ana amaca ulaşmak için gerekli adımlar nelerdir?” sorusu sorulur

-Ana görevler tanımlandıktan sonra her bir görev için bir sonraki seviyeye geçilir. Burada, ikinci seviye görevler için “bu amaca ulaşmak için gerekli adımlar nelerdir?” sorusu sorulur

-Başarılı seviyelere ulaşmak için fikirler tükenene kadar bu şekilde devam edilir

Bir ağaç diyagramı taslağı şekil 22’de verilmiştir (Taghizadegan, 2006: 153):

Şekil 23: Ağaç Diyagramı



Kaynak: Taghizadegan, 2006: 153.

1.6. ALTI SİGMA-TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ (TKY) İLİŞKİSİ

Edward Deming'in önderliği altında ortaya çıkmış olan TKY felsefesi, genel olarak israfı önlemeyi, ürün ve hizmet kalitesini arttırmayı, maliyetleri düşürmeyi, çalışan motivasyonunu arttırmayı, müşteri memnuniyetinin sürekliliğini ve sürekli iyileşmeyi hedefler (Öztürk, 2009: 15). Genel niteliklerine ve istatistiki tekniklerden yararlanma durumlarına göre değerlendirirsek, Altı Sigma felsefesiyle oldukça fazla ortak noktası bulunmaktadır. Altı Sigma'dan önce, istatistiğin süreç yönetiminde kullanılarak kaliteli ürünlerin üretilmesi düşüncesi TKY ile ortaya atılmış, ancak ne yazık ki bu düşüncenin hayata geçirilmesi yeterli düzeyde sağlanamamıştır (Gürsakal ve Oğuzlar, 2003: 5). Bu başarısızlığın temel nedeni ise gerekli alt yapının oluşturulamamasıdır. Geçmişte başarısız olan TKY uygulamalarının %80'inin başarısızlık nedeni, gerekli alt yapının kurulamamasıdır (Pyzdek, 2003: 25). Ancak kabul etmemiz gerekir ki TYK, Altı Sigma'nın ortaya çıkması için gerekli olan ivmeyi sağlamıştır (Pande ve diğerleri, 2004: 73).

TKY genel prensipleri sunmakta ve prensiplerin uygulamaya nasıl döküleceğinin kararını şirketlere bırakmaktadır. Bu prensipleri iyi bir şekilde işlemselleştirebilen şirketler, Altı Sigma uygulayan şirketler tarafından raporlanan sonuçlarla karşılaştırılabilir seviyede iyi sonuçlar elde etmektedir (Pyzdek, 2003: 25). Ancak Altı Sigma organizasyonu, TKY organizasyonunun sağladığı iyileşme düzeyinin çok daha ötesinde bir başarı potansiyeli sunmaktadır. Bu bağlamda, TKY'nin hataları ve Altı Sigma'nın çözümleri karşılaştırmalı olarak tablo 16 ile verilmiştir.

Tablo 16: TKY Hataları ve Altı Sigma Çözümleri

	TKY Hatası	Altı Sigma Çözümü
1	Entegrasyon eksikliği	İşlerin ve kişilerin gelirlerine bağlantı kurmak
	Kalite genel olarak şirket stratejisi ve performansının temel konularından farklı bir yan etkinlik gibi görülmüştür.	Altı Sigma kuruluşları süreç yönetimini, iyileştirmeyi ve ölçümü özellikle işletmeden sorumlu müdürlerin günlük işlerinin bir parçası olarak uygulamaya koyar.
2	İlgisiz liderler	Ön saflardaki liderler
	Üst düzey yöneticilerin kalite konusundaki kuşkuculuğu, kaliteyi geçici olarak hissettirir.	İşin en tepesindeki kişilerin Altı Sigma'ya karşı olan inanç ve tutkusu, Altı Sigma sistemine öncülük etmektedir.
3	Kavram bulanıklığı	Tutarlı bir şekilde tekrar edilen basit bir mesaj
	Kavram bulanıklığının kalite kavramı ile başladığı TKY, yeni yaklaşımlarla ortaya çıkan kalite çabalarıyla bütünleşememiştir.	Açık, eksiksiz ve yeterince spesifik Altı Sigma tanımı, sürekli yinelenerek kavram bulanıklığı ortadan kaldırılabilir.
4	Belirsiz bir hedef	Anlamlı ve net bir hedef
	TKY yöntemleri, gerçekte çok çeşitli ve değişken olan müşteri taleplerini karşılamada oldukça başarısız kalmıştır.	Altı Sigma'da sıfır hata kampanyalarının tersine, inandırıcı ve anlaşılır bir hedef vardır.

5	Aşırı titizlik ve teknik katılık	Araçları ve katılık derecesini koşullara göre seçmek
	TKY’de bir işin yalnızca bir şekilde yapılması gerektiğine inanılır, belli yöntemlerden sapmak kalite ideale ihanet olarak değerlendirilir.	Altı Sigma’da benimsenen yaklaşım, en kolay ve basit biçimde bizi sonuca ulaştıracak araç ve yöntemlerden yararlanmaktır.
6	İçerideki engelleri aşmada başarısızlık	Departmanlar arası süreç yönetimine verilen öncelik
	TKY’de bütün organizasyona yayılmış Toplam Kalite kavramının çoğu zaman uzağında kalınmıştır.	Altı Sigma’da daha etkili ve daha verimli bir şirket meydana getirmeyi kolaylaştırmak üzere süreç yönetimine önem verilir.
7	Adım adım değişime karşı katlamalı değişim	Adım adım katlamalı değişim
	TKY’de değişimin çok sayıda küçük iyileşmeden meydana geldiğine inanılır, yeniden tasarım (reengineering) kavramına uzak durulur.	Altı Sigma’da, hem küçük iyileştirmelerin hem de büyük değişimlerin iş yaşamında ayakta kalmanın vazgeçilmez birer parçası olduğunu vurgular.
8	Etkisiz eğitim	Kara kuşaklar, yeşil kuşaklar, uzman kara kuşaklar
	TKY eğitimi, iyileştirmenin nasıl hayata geçirileceğinden çok eğitim araçlarına odaklanmıştır.	Altı Sigma’da eğitim standartları yüksektir. Bu standartlara ulaşmak için gerekli eğitim zamanı ayrılır ve parasal yatırım yapılır.
9	Ürün kalitesine verilen önem	Bütün iş süreçlerine verilen önem
	Kalite iyileştirme çabalarının pek çoğu yalnızca üretim süreçlerine eğilir. “Toplam” tanımlamasının aksine hizmet, lojistik, pazarlama gibi alanlara gereken önem verilmez.	Yalnızca hizmet ve işlemsel süreçleri ele almakla kalmaz, üretime kıyasla bu alanlara daha fazla önem verir.

Kaynak: Pande ve diğerleri, 2004: 73.

Altı Sigma yaklaşımı, kendinden önce gelen TYK gibi pek çok kalite iyileştirme çabalarının temel değerleri üzerine kurulmuştur diyebiliriz. Ancak geçmiş yaklaşımlarda görülen hataları tekrar etmemek üzere tasarlanmıştır. TYK uygulayan

şirketlerde, Altı Sigma yaklaşımı TKY'yi bütünleyen bir unsur olarak, çok daha başarılı sonuçlar doğurabilmiştir (S.P.A.C, 2003: 24). Bu nedenle Altı Sigma'yı, geçmiş yaklaşımların yerine alternatif bir yöntem olarak değil, onları tamamlayarak mükemmeli yakalamayı hedefleyen bir yöntem olarak değerlendirmek gerekir. Belki de Altı Sigma'nın başarısı, içinde barındırdığı, kimi geçmiş iyileştirme çabalarında da yer alan, temel değerlere ve bunların birbirlerini doğru bir şekilde desteklemesine dayanıyor olabilir (Caulcutt, 2001: 306).



İKİNCİ BÖLÜM

TOPLAM ÜRETKEK BAKIM (TPM)

İkinci bölümde, Toplam Üretken Bakım kavramı tanıtılmış ve TPM'in tarihi hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra TPM'in 16 büyük kaybından detaylı olarak bahsedilmiştir. Ardından TPM yönetimindeki ekipman etkinliği kavramı incelenmiş ve son olarak TPM organizasyonu detaylı olarak ele alınmıştır.

2.1 TOPLAM ÜRETKEK BAKIM KAVRAMI

Toplam üretken bakım (TPM), üretim ekipmanının işlevini ve tasarımını geliştirmeye odaklanan agresif bir stratejidir (Swanson, 2001: 237). Bakım problemlerinin üretim tesislerinde artmasına karşılık olarak Japonya'da TPM kavramı geliştirilmiştir (Chan ve diğerleri, 2005: 72). TPM, örgütteki tüm çalışanların katılımı ile üretim ekipmanlarının veya imalat sürecinin etkinliğini sürekli iyileştiren bir yöntemdir. TPM'i diğer bakım iyileştirme yöntemlerinden ayıran en önemli özellik, TPM'in örgütteki herkesin katılımına ihtiyaç duymasıdır (Rubrich ve Watson, 2004: 209). Geleneksel sistemlerin merkezinde bakım bölümleri olmasına rağmen TPM felsefesinde, tüm bölümlerden tepeden aşağıya herkesin katılımı amaçlanır.

TPM yönetiminde, üretim ekipmanlarının etkinliklerinin artırılması amacıyla etkinliğe tesir eden tüm kayıplar minimize edilmeye hatta sıfırlanmaya çalışılır. Bu bağlamda TPM, arızaları, hataları ve diğer tüm ekipman kayıplarını yok etmeyi; böylece ekipman etkinliğini aşama aşama arttırmayı; şirket karlılığını yükseltmeyi ve tatmin edici bir iş ortamı yaratmayı hedefleyen çalışmalar olarak tanımlanır (Shirose, 1995: 2). Ekipman etkinliğinin ölçümünde, bahsedilen kayıpları da dikkate alan ve TPM felsefesine has olan Toplam Ekipman Etkinliği (OEE) kavramı kullanılır. Bu kavram ileriki bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.

Ahuja ve Khamba (2008: 718)'nın kapsamlı tanımına göre; TPM, örgütün tüm seviyelerinden çalışanların aktif katılımıyla, verimlilik kayıplarını üretim sisteminin ömrü boyunca ortadan kaldırarak üretim verimliliğini optimize etmeyi amaçlayan, ekipman merkezli olarak yapılandırılmış bir sürekli iyileştirme sürecidir. Rodrigues ve Hatakeyama (2006: 276)'ya göre; TPM kavramı, şirketleri, hataları yok etme, ekipman performansını yükseltme, üretimdeki arızaları ve duruşları azaltma

gibi davranışlara zorlayan rekabet ortamının ihtiyaçlarına cevap olarak ortaya çıkmıştır. Al-Hassan ve diğerleri (2000: 597)'ne göre TPM, tüm çalışanların katılımıyla, ekipman etkinliğini optimize eden, arızaları ortadan kaldıran ve otonom bakımı günlük aktivitelerle teşvik eden yenilikçi bir yaklaşımdır. McAdam ve Duffner (1996: 616)'ın tanımlamasına göre TPM, takıma dayalı bir ortamda, ekipmana bağlı hataları ve kayıpları sistematik olarak ortadan kaldıran ve belirli teknikler aracılığı ile uygulanan bir süreçtir. Wal ve Lynn (2002: 360) ise TPM'i şöyle tanımlamıştır; "TPM, üretim örgütlerinin iç etkinliği üzerinde dikkate değer bir etki gösteren değişim yönetimi yaklaşımıdır." Bu tanımların yanı sıra TPM'in beş temel kuralı vardır. Bunlar (JMAC, 2014: 6):

- 1-Operasyonları karlı hale getirmek
- 2-Tedavi etmekten çok önleyici çalışma yapmak
- 3-Herkesi dahil etmek
- 4-Üretim sahası herkesin sorumluluğundadır yaklaşımını kullanmak
- 5-Sürekliliği olan bir çalışma ortamı yaratmak

TPM'in ekipmanın tüm yaşamını kapsayan, ekipman ile ilgili tüm alanları tarayan ve üst yönetimden saha çalışanına kadar tüm çalışanların katılımı ile üretken bakımı veya gönüllü küçük grup çalışmalarını yükseltmek için kapsamlı bir üretken bakım sistemi kurarak, ekipman etkinliğini en yüksek seviyeye getirmek amacıyla tasarlanmıştır (Tsuchiya, 1992).

TPM'deki toplam kelimesinin üç anlamı vardır (Nakajima, 1988):

1-Toplam etkinlik: TPM'in ekonomik verimlilik ve karlılığın peşinde olduğunu ifade eder.

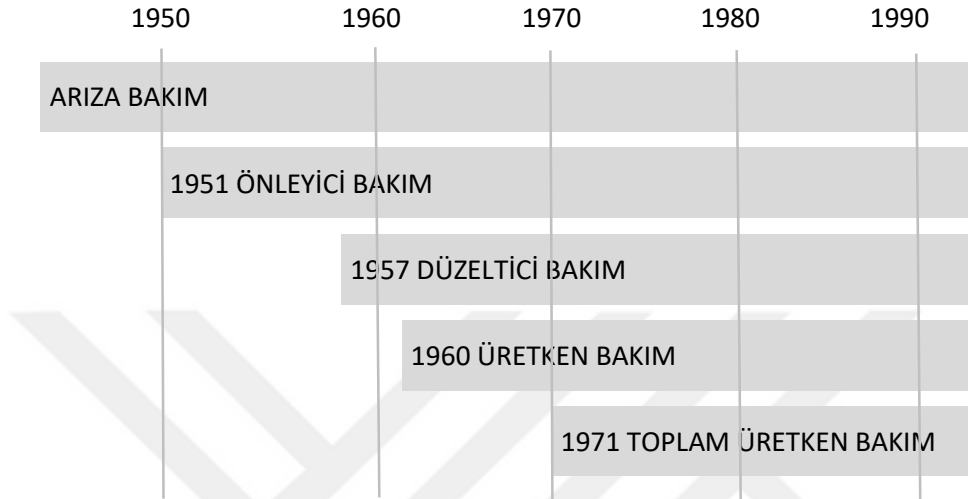
2-Toplam bakım sistemi: Bakım önleme (Maintenance prevention) ve bakım yapılabilirlik geliştirme (Maintainability improvement) yanı sıra planlı bakımı içerir. Güvenilirlik, bakım yapılabilirlik ve desteklenebilirlik özelliklerinin ekipman tasarımına katkısı ile bakımsızlaştırmanın (Maintenance-free) sağlanmasıdır.

3-Toplam katılım: Otonom bakım yapan operatörlerden küçük grup çalışmalarına kadar tüm çalışanları kapsar. Özellikle bakım işleri, operatörlerin kendi ekipmanlarının tüm sorumluluğunu üstlendiği bir takım çalışması ile yerine getirilir.

Bakım yönetiminin Japonya'daki gelişimi ve TPM felsefesinin doğuşu kronolojik sırasıyla şekil 23'de ifade edilmiştir (JMAC, 2014: 5). Japonya'daki

gelişimine göre bakım yönetimi beş safhaya ayrılmıştır. Bu safhalar; arıza bakım, önleyici bakım, düzeltici bakım, üretken bakım ve toplam üretken bakımdır. Bakım yönetiminin safhaları ileriki bölümlerde daha ayrıntılı olarak verilecektir.

Şekil 24: Bakım Yönetiminin Japonya'daki Gelişimi

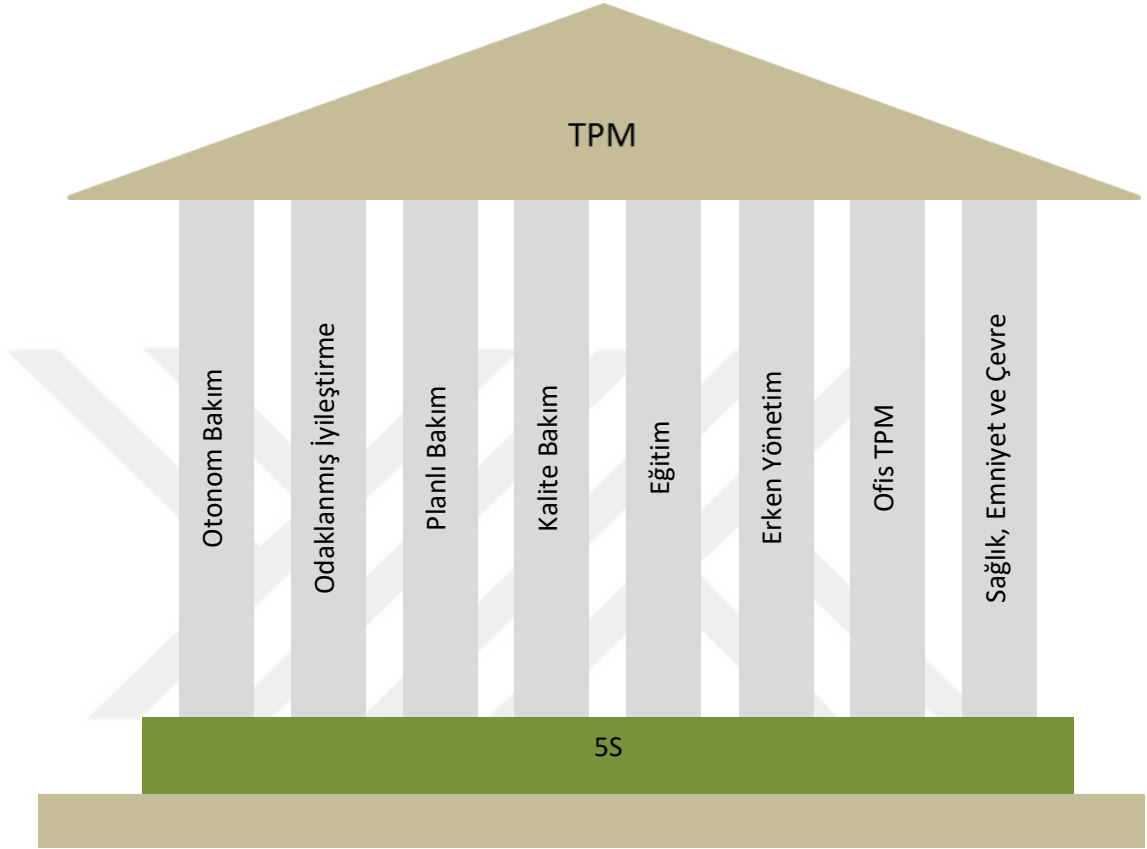


Kaynak: JMAC, 2014: 5.

1969 yılında, Japon Fabrika Mühendisleri Enstitüsü (JIPE)'nin otomotiv yan sanayisi olarak faaliyet gösteren Nippondenso firmasıyla, önleyici bakım üzerine çalışmaya başlamasından sonra şirketin, operatörlerin görevlerini, makinalardaki rutin bakımları kendileri yapacak şekilde değiştirmeye karar vermesi, TPM'in başlangıcı olmuştur (Ireland ve Dale, 2001: 183).

TPM uygulamaları, Japon Fabrika Bakım Enstitüsü (JIPM)'nin oluşturduğu 8 sütun baz alınarak yönetilir. TPM'in hedeflerine ulaşması için bir uygulama planı işlevi gören bu aktiviteler şekil 24'de verilmiştir. Bu aktiviteler, otonom bakım; odaklanmış iyileştirme (Kobetsu Kaizen); planlı bakım; kalite bakım; eğitim; erken yönetim; ofis TPM ve sağlık, emniyet ve çevre'dir. TPM'in başarılı bir şekilde yayılması için bütün sütunların birbirlerine sürekli bir proses şeklinde bağlı olması gerekmektedir (Bartz ve diğerleri, 2014: 6). TPM aktiviteleri ileriki bölümlerde detaylı ele alınacaktır.

Şekil 25: JIPM Tarafından Önerilen 8 Sütun



Chan ve diğerleri (2005: 91)'nin çalışmalarında elde ettikleri pratik bilgiler ışığında, TPM uygulaması için gerekli kritik başarı faktörleri belirlenmiştir:

-TPM uygulaması sırasında bakım ve üretim bölümlerinde, faydaları gerçeğe dönüştürmek için özel bir eğitim gereklidir.

-Takım üyelerinin seçimi kritiktir. Şirketlerde çeşitli eğitim seviyelerine ve kıdeme sahip olan çalışanlar vardır. Kültür değişimini öğrenmekte ve kabul etmekte farklılıklar ortaya çıkacaktır. Bu nedenle, takım üyeleri olumlu düşünceye sahip olmalı ve değişme açık olmalıdır.

-Operatörlere devredilmesi gereken bakım yeteneklerinin devri için gelişmiş bir bakım eğitim sistemi, TPM uygulamasının en önemli faktörlerinden biridir.

-TPM uygulamasında yönetim desteği, operatörlerin ve bakım personelinin moralini artırmak ve bağlılıklarını sürdürmek adına çok önemlidir.

-TPM'in eş zamanlı uygulanması yetersiz kaynak kullanımına sebep olacaktır. Bu durum, düşük üretkenliğe veya iyileştirme elde edilmemesine sebep olacaktır. Böylece çalışanların TPM uygulamasına karşı motivasyonu ve ilgisi azalacaktır. Bu nedenle, pilot makina uygulaması TPM'in en kritik faktörlerinden birisidir.

TPM ve TKY uygulamalarının her ikisi de şirketleri daha rekabetçi yapmak için çabalayan süreçlerdir (Jostes ve Helms, 1994: 18). TPM örgüt için potansiyel bir iyileştirme kaynağı sunar ve TKY felsefesinin faydalarını devam ettirmek için bir sonraki muhtemel adım olarak görev görür (Brah ve Chong, 2004: 2383). TKY, şirket performansını, özellikle kalite açısından attırmaya yönelik bir yönetim yaklaşımı olarak tanımlanır (Konecny ve Thun, 2011: 497). TKY açıkça müşteriye odaklanmaya vurgu yaparken, TPM müşteri boyutunu, israfı azaltarak, verimliliği arttırarak, aktiviteleri zamanında ve planlı yaparak, veri toplayarak ve analiz ederek ve kaliteyi geliştirerek dolaylı olarak ele alır (Brah ve Chong, 2004: 2384).

TPM ve TKY'nin benzer uygulamaları Cua ve diğerleri (2001: 678)'nin çalışmasında toparlanarak verilmiştir. Gerçekleştirdikleri detaylı literatür araştırması sonucu oluşturdukları tabloya göre, TPM ve TKY'nin benzer uygulamaları, yönetim bağlılığı, stratejik planlama, çapraz fonksiyonlu eğitim, çalışan katılımı ve bilginin ve geri bildirimin kullanılmasıdır. Sadece TKY'de olan uygulamalar, çapraz fonksiyonlu ürün tasarımı, süreç yönetimi, tedarikçi kalite yönetimi ve müşteri katılımıdır. Sadece TPM'de olan uygulamalar ise otonom ve planlı bakım ile teknolojiye önem vermek ve ekipman iyileştirmesidir.

TPM felsefesi içinde işletmeler için faydalı olacak pek çok özellik bulunmaktadır. Bu özellikler ve TPM'in uygulanmasıyla elde edilecek sonuçlar TPM'in gelecek vizyonu tablosunda (Tablo 17) verilmiştir.

Tablo 17: TPM'in Gelecek Vizyonu

Özellik	Sonuç
-Makineler etiket kapasite değerine yakın çalışır	-Sermaye ihtiyacı azalır
-İyileştirme önerileri çoğunlukla operatörlerden gelir	-Sahiplik duygusu ve başarı
-Arızalar nadiren gerçekleşir ve kusursuz operasyona ulaşılır	-Öğrenmeye ve öğretmeye alışılır
-Makinalar çalışanlar tarafından ihtiyaçlara göre uyarlanır	-Makinalar daha iyi durumda olur
-Operatörler ve bakımcılar problemleri kendileri çözerler	-Daha az gecikme ve duruş: öz saygı artar
-Sürekli iyileştirme ile temizlik ve gurur	-İyi çalışma çevresi
-Mevcut fabrikadan daha fazla çıktı alınır	-Daha fazla kar ve/veya daha fazla kontrol ve seçenek

Kaynak: Willmott ve McCarthy, 2001: 44.

2.1.1 TPM Önündeki Engeller

TPM organizasyonu, örgütün rekabetçiliğini arttırmayı hedefler. Şirket kültüründe fark edilir bir değişim sağlayarak, çalışanların zihniyetini değiştirecek güçlü bir yapı ortaya koyar. Ancak bu güçlü yapı, şirket içi bir takım engeller sebebiyle her zaman başarı ile ortaya konulamaz. Rodrigues ve Hatakeyama (2006: 278) TPM'in başarısız olmasına sebep olacak ana faktörleri tablo 18'de özetlemiştir.

Bu engelleri aşmanın yolu, her şirketin kendi hareket planını geliştirmesinden geçmektedir. Çünkü ihtiyaçlar ve problemler, endüstri tipine, şirkete, üretim yöntemine, ekipman tiplerine ve durumlarına bağlı olarak farklılaşmaktadır (McAdam ve Duffner, 1996: 617). Mckone ve diğerleri (1999: 125)'nin çalışmasında, Hartmann (1992)'ın vurgu yaptığı, TPM sürecinin kişiselleştirilme ihtiyacına karşılık olarak, TPM uygulamasının etkileneceği ülke, fabrika ve yönetim unsurları üzerine bir araştırma yapılmıştır. Bu faktörler TPM uygulaması önünde engel oluşturabilmektedir ve başta belirttiğimiz gibi engelleri aşmanın yolu TPM uygulamasının kişiselleştirilmesine bağlıdır.

Tablo 18: TPM'in Başarısız Olmasına Sebep Olacak Ana Faktörler

- Aynı ekip ile çalışırken üretimin günlük ritminin artması
- Otonom bakım için zamanın olmaması
- Tek bir operatörün birden fazla makinayı aynı anda kullanması
- İş stresi
- Operatörlere sadece üretme fikrinin verilmesi, bunun yanında bakım yapma fikrinin verilmemesi
- Hızlı bir şekilde TPM uygulanmasının bazı adımların atlanmasına sebep olması
- Eğitim eksikliği (Teknik personel ve yönetim için)
- İlerlemelerin ve gelişimin takip edilmemesi
- Tamamlanmamış ve açıklamasız bırakılmış hedefler
- TPM dönüşümünün operatörler tarafından reddedilmesi
- Müdürlerin ve uzman personelin gerçekten bağlı olmaması
- Yüksek yönetici sirkülasyonu
- Operatörler ve bakımcılar tarafından net değerlendirme ölçütleri verilmeksizin yatırımların kesilmesi

Kaynak: Rodrigues ve Hatakeyama, 2006: 278.

TPM uygulaması önündeki en önemli engellerden biri de kültürel değişimin gerçekleştirilememesidir. Yukarıdaki listede belirtilen engellerin pek çoğunun altında da kültürel değişime karşı gösterilen direnç yatmaktadır. Bu direnç sebebiyle pek çok şirket TPM uygulamasında başarısız olmaktadır. Lawrence (1999: 63)'a göre, başarılı bir TPM uygulaması, üretim ve bakım organizasyonları arasındaki duvarın yıkılmasından geçer. Yine Lawrence (1999: 63)'a göre, TPM karşısında direnç sebep olan diğer bir faktör, işletmelerin daha fazla görevi daha az kaynak ile yapma arzusudur.

TPM uygulaması önündeki engelleri aşmak için Rubrich ve Watson (2004: 217-220)'ın önerdiği dört adet TPM uygulama ön koşulu aşağıda özetlenmiştir;

-Üst yönetimin bağlılığı: Dünya klasında TPM uygulaması 3 ila 8 yıl arasında zaman alabilir. Üst yönetim bağlılığı, bu dönüşüm sırasında ihtiyaç duyulacak örgütsel rol değişimini desteklemek için mevcut olmalıdır.

-5S uygulaması ve takım eğitimi: Başarılı bir TPM uygulaması, bu destek yapıları kurulmadan elde edilemez.

-Adanmış insanlar: TPM, uzun uygulama zamanından dolayı adanmış kaynak olarak tam zamanlı TPM yöneticisine ihtiyaç duyar.

-Esnek ve çapraz eğitilebilir çalışanlar: Operatörler ve bakım arasındaki geleneksel ayrılığın ortadan kaldırılması, herhangi bir TPM çalışmasının ilerlemesine katkı sağlayacaktır.

2.1.2 TPM Uygulama Esasları

TPM'in babası olarak kabul edilen Nakajima (1988) tarafından önerilen 12 adımlı TPM uygulama yaklaşımı, TPM'in şirketlerde nasıl uygulanması gerektiği ile ilgili ışık tutmaktadır. Dört fazdan oluşan 12 adımlı uygulama ve geliştirme programı, TPM'in geliştirilebilmesi için temel seviye ihtiyaçları içermektedir (Ahuja ve Khamba, 2008: 728). Japon Yönetim Derneği Danışmanları (JMAC) tarafından program haline getirilip önerilen 12 adım uygulama programı tablo 19'da verilmiştir (JMAC, 2014: 17).

Tablo 19: 12 Adım TPM Geliştirme Programı

Safha	Adım	Kritik nokta
Hazırlık	1-Üst yönetim TPM uygulamasına bağlılığını deklare eder	-Yönetim kuruluna bildirilir -İç TPM seminerlerinde bildirilir
	2-TPM tanıtım kampanyası ve eğitim başlatılır	-Üst düzey yöneticiler eğitim kampına alınır, diğerleri eğitim toplantılarına alınır
	3-Temel TPM politika ve hedefleri tanımlanır	-Hedefler net bir şekilde oluşturulur -İyileştirmelere ihtiyaçları belirlenir
	4- TPM'i ilerletmek için organizasyonlar oluşturulur	-Yönetim komitesi, alt komiteler ve TPM ofis oluşturulur
	5-TPM ana planı hazırlanır	-3 yıllık ana plan oluşturulur
Başlama Vuruşu	6-TPM programının resmen başlangıcı yapılır	-Yönetim tedarikçiler ve müşterilerin önünde TPM'e bağlılığını ifade eder

Uygulama	7-Aşağıdaki 8TPM sütunu tanımlanarak, üretim etkinliğini en üst seviyeye çıkarmak için bir sistem geliştirilir -Odaklanmış iyileştirme -Otonom bakım -Planlı bakım -Eğitim	-Üretim etkinliğini takip edilir -Üretim sahasında proje takımları ve küçük iyileştirme grupları oluşturulur -Adım adım yaklaşımı uygulanır -Düzeltilici, periyodik ve önleyici bakım yapılır -Takım liderleri eğitilir
	8-Erken yönetim	-Basit üretim ve basit operasyon geliştirilir
	9-Kalite bakım	-Sıfır hata seviyesini oluşturulur ve sürdürülür
	10-Ofis TPM	-Üretim bölümü desteklenir
	11-Sağlık, emniyet ve çevre	-Sıfır kaza, sıfır kirlilik ortamını oluşturulur
İstikrar	12-TPM uygulaması mükemmelleştirilir ve TPM seviyesi artırılır	-TPM ödülünü kazanmak için daha yüksek hedefler belirlenir

Kaynak: JMAC, 2014: 17.

Nakajima'nın TPM programına ek olarak aşağıda, Brah ve Chong (2004: 2388)'un kapsamlı literatür taraması sonucu belirlediği, TPM uygulamasının temel yapı taşları verilmiştir:

-Bütünleşik stratejik planlama: stratejik planlama ve planların uygulanması, başarı bir TPM uygulaması için önemlidir.

-Üst yönetimin liderliği: üst yönetimin TPM projelerine katılması, TPM planlarının benimsenmesinin başarılmasında önemlidir.

-İçeriğe odaklanma: ekipman yaşı ve şirket büyüklüğü gibi örgütsel faktörler TPM uygulamasını etkiler.

-İnsan kaynağına odaklanma: şirketin insan kaynağı ile stratejisini nasıl aynı doğrultuya getireceğini araştırır.

-Sürece odaklanma: şirketin otonom bakımı ve planlı bakımı nasıl yönettiğini araştırır.

-TKY'ye odaklanma: TPM'in öncülü olan TKY'ye odaklanmanın TPM uygulamalarına etkisini analiz eder.

-Bilgi sistemlerine odaklanma: bu yapı taşı, çalışanların, makinaların ve yönetimin performansını analiz etmek için şirketteki bilgi kullanımı sorunuyla ilgilenir.

Her ne kadar yukarıda verildiği gibi standart TPM uygulama programları olsa da, TPM uygulamasında ekipman etkinliğini en üst seviyeye çıkarmak için kullanılan uygulama detayları ve prosedürler her şirket için özel olmalıdır, aksi takdirde TPM uygulama görevi göz korkutucu olabilir (McAdam ve Duffner, 1996: 629). TPM'in gerçek potansiyelini ortaya çıkarmak ve başarılı bir TPM uygulaması elde etmek için TPM'in hedefleri ve amaçları, şirketin stratejik planlarıyla tamamıyla bütünleştirilmelidir. Çünkü TPM sadece üretim ile sınırlanmadan tüm örgütü etkilemektedir (Ahuja ve Khamba, 2008: 736).

TPM uygulamasıyla beraber örgüt içinde geleneksel yaklaşımdan TPM felsefesine doğru bir geçiş olmaktadır. Bu geçiş ile beraber tüm örgütsel rollerde değişim olmalıdır. Rubrich ve Watson (2004: 218)'a göre şirket genelindeki rollerde gerçekleşmesi gereken değişiklikler tablo 20'de verilmiştir.

2.1.3. TPM'in Faydaları

Stratejik TPM uygulamasıyla, çeşitli örgütsel üretim önceliklerinin ve hedeflerinin başarılması sağlanabilir. Tablo 21'de üretim öncelikleri ve bu önceliklere TPM yaklaşımının sağladığı katkılar verilmiştir (Ahuja ve Khamba, 2008: 719).

Tablo 20: TPM ile Beraber Şirket Genelindeki Gerekli Rol Değişimleri

Geleneksel Rol	Geleneksel Sorumluluk	TPM Rolü	TPM Sorumluluğu
Operatör	-Yapılacak iş söylenir -Fikirler ve düşünceler asla sorulmaz -Kollarını ve bacaklarını kullanır, beynini değil -İşine ve şirketine herhangi bir bağlılık hissetmez	Sahip/ Operatör	-Kendi işini yönetmesi için yetkilendirilir -Müşterileri ziyaret eder -Rutin önleyici bakım görevlerini yerine getirir -Problem çözümüne katılır ve liderlik eder
Tamirci Bakım	-Ekipmanı arızalandığı zaman onarır -fiziksel ve duygusal olarak şirketten ve üretimden ayrılmıştır -Acil arıza çözme mantığı gelişmiştir	Bakım Teknisyeni	-Operatörleri rutin önleyici bakım görevleri için eğitir -Önleyici bakımı düşünür -Planlı önleyici bakım çalışmaları yapar -Kestirimci bakım çalışmaları uygular
Üretim Mühendisi	-Ekipman tasarımından ve tedarikçi seçiminde sorumlu -Ekipmanda problem çıktığı zaman sahaya iner	Üretim Mühendisi	-Ekipman tedarikçilerini eğitir -Problemlerin çözümü için sahada operatörlerle beraber çalışır -Teknisyenleri eğitir -Mevcut ekipmanı iyileştirir
Yönetim	-Çalışanlara karşı güvensizlik -Üretim sürecine uzak -Operatörlerle sınırlı iletişim -Arıza bakımından memnun	Yönetim	-Zamanının %20'sini sahada TPM amigosu ve sorun çözücü olarak geçirir -İyileştirmeler için planlı duruşlara yönlendirir -Açık ve hızlı iletişim kurar -İnsanların eğitimine ve gelişimine ihtiyaç duyar

Kaynak: Rubrich ve Watson, 2004: 218.

Tablo 21: Üretim Öncelikleri ve TPM'in Sağlayacağı Katkılar

Üretim önceliği	TPM katkısı
Üretkenlik	Ekipman kullanılabilirliğini ve verimliliğini geliştirerek plansız duruşlarda ve arızalarda azalma Ek kapasite, hızlı model dönüşü ve ürün tasarımıyla kişiselleştirme sağlama
Kalite	İstikrarsız üretim kaynaklı kalite problemlerinde azalma Geliştirilmiş kalite ile saha hatalarında azalma Ek kapasite, hızlı model dönüşü ve ürün tasarımıyla kişiselleştirme sağlama
Maliyet	Yaşam döngüsü maliyeti Etkin bakım prosedürleri Hacim ve farklılık esnekliğini destekleme Kalite ve duruş kaynaklı hurdalarda azalma
Teslimat	Tam zamanında üretim faaliyetlerini destekleme Teslimat, hız ve güvenilirlik verimini artırma Donanımlı çalışanların hatlarda kullanılabilirliğini artırma
Güvenlik	Çalışma alanını geliştirme Çalışma alanında sıfır kazayı gerçekleştirme Tehlikeli durumları ortadan kaldırma
Moral	Kaizen ve önerilerde anlamlı iyileşme Çalışanların ürün ve üretim bilgisini artırma Problem çözme yeteneğini geliştirme Çalışanları yeteneklerini ve bilgisini artırma Çalışan katılımı ve yetkilendirilmesi

Kaynak: Ahuja ve Khamba, 2008: 719.

Her ne kadar TPM felsefesi başlangıç zamanlarında olsa da, bazı uygulamalarında başarı sağlanabildi, ancak bu başarı şans eseri elde edilmedi. Eğer şirketler geleneksel yöntemlerde ısrar etseydi, TPM uygulaması kesinlikle başarısız olacaktı. Çünkü TPM, üretim ve bakım departmanlarının görevlerini ve fonksiyonlarını düzenlemek gibi zor bir görevi içermektedir (McAdam ve Duffner, 1996: 620). TPM'in üretim performansına etkilerinin incelendiği Mckone ve diğerleri (2001: 52)'nin çalışması, üretim performansının pek çok boyutunun TPM

uygulamasını ile güçlü pozitif ilişkisi olduğunu ortaya koymuştur. Genel olarak, TPM uygulamasının elde ettiği başarılar, şirketlerde üretim performansının geliştirilmesinde önemli bir role sahip olmuştur (Mckone ve Weiss, 1998: 336).

Başarılı bir TPM uygulaması neticesinde; kalite artırılır, üretkenlik artırılır, teslimat geliştirilir, stok azaltılır ve iş tatmini artırılır. Çünkü, iyi durumdaki bir ekipman daha az değişkenlik ile parça üretir; ekipman duruşlarının yok edilmesi ve çevrim süresinin azaltılması daha çok üretmemizi sağlar; kalite ve üretkenliğin artması teslimat zamanlarına uyumu artırır; arıza olabilir diye stok yapmamıza gerek kalmaz; arıza yapmayan ve üretkenliği yüksek olan makinaların operatörlerinin iş tatmini yüksek olur (Rubrich ve Watson, 2004: 214).

Willmott ve McCarthy (2001: 27) TPM uygulamasının genel faydalarını, işletmeye, ekipmana ve insana olmak üzere üç kategori altında aşağıdaki şekilde özetlemiştir.

1) İşletmeye faydaları:

-Müşterilerin istediklerini, istedikleri zaman, ilk seferde doğru olarak sağlamak adına güvenle planlama yapma

-Esneklik: Yüksek düzeyde stok bulundurmadan pazar değişimlerine hızlı tepki verebilme

-Karlılık artışı sağlayacak olan OEE’de iyileşme

2) Ekipmana faydaları:

-Süreç yeterliliğinde, güvenilirlikte, ürün kalitesinde ve verimlilikte iyileşme

-Ekipmanın tasarımından itibaren tüm ömrü boyunca ekonomik olarak kullanımı

-Ekipmanın etkinliğini en yüksek seviyeye çıkarma

3) İnsana faydaları:

-Operasyonel, takım çalışması ve problem çözme yeteneklerinin kullanımının artması

-Pratik ve etkin takım çalışması deneyimi

-Değer katan aktivitelerin reaktiften proaktif dönüşmesiyle beraber sorunsuz vardiyalar

2.2 TOPLAM ÜRETKEN BAKIMIN TARİHİ

TPM'in kökleri, pek çok endüstride standart mühendislik işlevi olarak kullanılan ve birbirleriyle çok yakın ilişkili birer disiplin olan, güvenilirlik ve bakım alanlarına dayanmaktadır (Mckone ve Weiss, 1998: 336). Bu bakımdan, bakım temelli bir yönetim felsefesi olan TPM'in temelleri bakım yönetiminin temellerine dayanır diyebiliriz.

Bakım yönetiminin beş temel safhasından söz edilebilir (McAdam ve Duffner, 1996; Mckone ve Weiss, 1998; Rubrich ve Watson, 2004; Chan ve diğerleri, 2005; Ahuja ve Khamba, 2008; JMAC, 2014). 50'li yıllardan önce ekipmanlara *arıza bakım* yapılmaktaydı. Bu safhada makinalar sadece gerçekten tamire ihtiyacı olduğunda bakıma alınmaktaydı. 1951 yılından sonra arızaları önlemek ve ekipman ömrünü uzatmak için ekipmanların fiziksel kontrolünü içeren *önleyici bakım* kavramı ortaya çıkmıştır (Ahuja ve Khamba, 2008: 713). Bu safhada, ekipman değişimi ve tamirinin ekonomik verimliliğinin yanı sıra, arızalar arası ortalama sürenin (MTBF) azaltılması için ekipman güvenilirliğinin geliştirilmesine önem verilmiştir (Mckone ve Weiss, 1998: 336). Önleyici bakımda, ekipmanların belirlenen periyotlarda belirlenen aksamalarına, arıza oluşmadan önce yapılması gereken bakım öngörülmeyle çalışılmaktadır. Bu amaçla zaman bazlı bakım (ZBB) tekniği kullanılarak periyodik olarak ekipman yağlanmakta, parça değişimi yapılmakta ve civata sıkılıkları kontrol edilmektedir. 1957 yılında *düzeltilici bakım* tanıtılmıştır. Düzeltici bakım, makine arızalarından sonra yapılan kök neden analizinde elde edilen sonuca göre, makinanın tekrar arızalanmasını önlemek için yapılan iyileştirmeyi ifade etmektedir (Rubrich ve Watson, 2004: 222). 60'lı yıllarda güvenilirliğin, bakımın ve ekonomik verimliliğin önemi ve ekipmanları bakımsız kılacak şekilde tasarlama hedefiyle beraber *üretken bakım* kavramı doğmuştur (Chan ve diğerleri, 2005: 73). Üretken bakımın amacı, ekipmanın tasarımından ömrünün sonuna kadar olan toplam maliyetini azaltmak yoluyla şirketin verimliliğini arttırmaktır (Ahuja ve Khamba, 2008: 714). 1971 yılında Japonya'da Nippon Denso firmasında tanıtılan *toplam üretken bakım* kavramı, bakım temeli üzerine kurulu olan yaklaşımı ile şirketin ana hedeflerine ulaşması için şirketteki herkesin katılımını gerektiren bir yapı ortaya koyarak diğer safhalardan farklılaşmıştır.

Bu gelişmeler sonucunda bakım yönetimi günümüzde stratejik bir rekabet aracı olarak görülmektedir (Mckone ve Weiss, 1998: 336). TPM ile beraber bakım yönetimi, işletmenin gerekli ve çok önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu sebeplerle pek çok firma TPM felsefesini uygulamıştır ve pek çokları da uygulamaktadır. Ülkemizde de 2000’li yıllarla beraber TPM’e olan ilgi artmış ve başta Arçelik, Eti, Tofaş, Vestel gibi firmalarda TPM uygulamasına geçilmiştir. Ülkemizde son yıllarda TPM uygulama oranı yeni firmaların katılımıyla artmaya devam etmektedir.

2.3 TOPLAM ÜRETKEN BAKIMIN 16 BÜYÜK KAYBI

Ana hedefi kayıpları ortadan kaldırmak olan TPM felsefesi, 16 büyük kayıp üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu kayıplar, ekipman etkinliğini etkilen 8 büyük kayıp, çalışan verimliliğini etkileyen 5 büyük kayıp ve üretim kaynaklarının kullanımına ilişkin 3 büyük kayıp olmak üzere üç başlık altında toplanmaktadır. Üretim performansını etkileyen 16 büyük kaybın tamamının özetini içeren tablo 22 aşağıdaki açıklamalardan sonra verilmiştir.

2.3.1 Ekipman Verimliliğini Etkileyen 8 Büyük Kayıp

Ekipman verimliliğini etkileyen 8 büyük kayıp; arıza kayıpları, model dönüşü ve ayar kayıpları, başlama kayıpları, ikmal ve doldurma kayıpları, küçük duruşlar, hız kayıpları, hurda ve yeniden işleme kayıpları ve planlı duruş kayıplarıdır.

1-Arıza kayıpları: Ekipmanın üretimini durduran veya yavaşlatan makine arızalarının tümünü içermektedir. Bu arızalar elektrik, mekanik veya kalıp arızası olabilirler. Arızalar, münferit arıza veya sürekli tekrarlayan arıza şeklinde gerçekleşebilirler. Münferit arızalar, bazı şartlarda gerçekleşen değişiklikler neticesinde ortaya çıkabilirken, sürekli tekrarlayan arızalar, ekipmanda görünmeyen hataların olması durumunda ortaya çıkarlar (Chan ve diğerleri, 2005: 75).

2-Model dönüşü ve ayar kayıpları: Üretilmekte olan bir üründen bir başka ürün modeline dönerken gerçekleştirilen ve ekipmanın durmasını gerektiren her türlü hazırlık, taşıma ve ayar işlemlerinden kaynaklanan duruşlardır (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 12). Model dönüşü ve ayar süresi belirlenirken, makinanın bir üretim sonunda kapatılmasından, bir sonraki üretimde ilk kaliteli parça üretilene kadar geçen süre dikkate alınmalıdır (Shirose, 1995: 31).

3-Başlama kayıpları: Başlama kaybı olarak, ekipmanın; çalıştırma, alıştırma ve üretme durumlarının rejime girmesine kadar geçen süre göz önüne alınmalıdır (Kwon, 2014: 58). Vardiya başlarında oluşan ve ekipmandan ilk kaliteli ürünü elde edinceye kadar geçen tüm duruşlar bu kapsamda değerlendirilebilir (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 13).

4-İkmal ve doldurma kayıpları: Kesici takımların aşındığında ya da bozulduğunda değiştirilmesi için makinanın durdurulmasıyla yaşanan kayıptır (JMAC, 2014: 18).

5-Küçük duruşlar: Küçük duruşlar, üretim geçici bir arıza sebebiyle veya makine takılması sebebiyle kesildiğinde oluşan duruşlardır (Chan ve diğerleri, 2005: 76). Arıza duruşlarının tersine, ekipmanı kapatıp açma ile sonuçlanan duruşlardır (JMAC, 2014: 18).

6-Hız kayıpları: Hız kayıpları makinanın çevrim süresinin, tasarım değerinin altına düşmesiyle oluşur. Çevrim süresinin düşmesi, bazen yanlış ayar bazen de fonksiyonel yavaşlama nedeniyle meydana gelebilir (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 13). Örneğin; ekipman tasarım hızında çalıştırılırken, düşük kalite veya mekanik arıza sebebiyle ekipmanın çevrim süresinin düşürülmesi gerekebilir (Kwon, 2014: 59).

7-Hurda ve yeniden işleme kayıpları: Üretimin azalması sebebiyle oluşan finansal kayıp ve kusurlu ürünü onarmak için harcanan zaman kaybı şeklinde tanımlanmaktadır (Ahuja ve Khamba, 2008: 727).

8-Kapatma kayıpları: Daha önceden planlanmış bakım faaliyeti, üretim ihtiyacı olmaması sebebiyle ekipmanın kapatılması, fabrika kaynaklı olmayan elektrik/basınçlı hava kesilmesi veya işlenecek ham maddenin fabrikaya ulaşmamış olması gibi duruşları ifade eder. Bu duruşlar ekipmanla ilgili olmadığı için ekipman etkinliği (OEE) hesabına dahil edilmezler.

2.3.2 Çalışan Verimliliğini Etkileyen 5 Büyük Kayıp

Çalışan verimliliğini etkileyen 5 büyük kayıp; lojistik kayıpları, hat organizasyonu kayıpları, ölçme ve ayar kayıpları, yönetim kayıpları ve harekete bağlı kayıplardır.

1-Lojistik kayıpları: Otomasyon eksikliğine bağlı olarak oluşan kayıplardır (Ahuja ve Khamba, 2008: 727). Örneğin; otomatikleştirilmiş bir yükleme boşaltma istasyonu, buradaki iş gücünün azalmasıyla sonuçlanacaktır.

2-Hat organizasyonu kayıpları: Hat dengesinin bozulması nedeniyle tüm işlerin en yavaş tempoya düşmesi ile oluşan kayıplardır (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 14). Hat tipi üretim yapan bir süreçte en yüksek çevrim süresine sahip istasyon ile diğer istasyonların çevrim süreleri arasındaki fark kadar kayıp yaşanır. Hat üzerindeki istasyonların çevrim süreleri dengelenerek bu kayıp giderilebilir.

3-Ölçme ve ayar kayıpları: Kalite kusurlarının oluşumunu önlemek için yapılan ölçme ve ayar işlemlerinden kaynaklanan duruşlardır (Ahuja ve Khamba, 2008: 727).

4-Yönetim kayıpları: Üretim ekipmanı ve operatör hazır olduğu halde malzeme bekleme, takım bekleme, talimat bekleme, tamirat bekleme vb. sebeplerle üretimin gerçekleştirilememesi sebebiyle yaşanan duruşlardır (Ahuja ve Khamba, 2008: 727; Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 14).

5-Harekete bağlı kayıplar: Ekipmanın uygun olmayan yerleşimi sebebiyle yaşanan taşıma kayıplarıdır (Shirose, 1995). Bunun yanı sıra istif yapma, istiften mal alma, hatalı el takımı veya hatalı yedek parça getirme şeklinde gerçekleşen harekete bağlı kayıplar da vardır.

2.3.3 Üretim Kaynaklarının Kullanımına İlişkin 3 Büyük Kayıp

Üretim kaynaklarının kullanımına ilişkin 3 büyük kayıp; verim kayıpları, sarf malzeme kayıpları ve enerji kayıplarıdır.

1-Verim kayıpları: Verim kayıpları, üretime giren malzemelerin ağırlığı ile üretimden çıkan kaliteli ürünlerin ağırlığı arasındaki fark kadar yaşanan malzeme kayıplarıdır (Ahuja ve Khamba, 2008: 727). Bu kayıplar, üretim hurdaları, üretim teknolojik fireleri, yeniden işleme sebepli ambalaj atıkları vb. sebeplerle oluşmaktadır.

2-Sarf malzeme kayıpları: Kalıpların ve takımların ömürlerine veya arıza durumlarına bağlı olarak yeniden imali veya tamiri şeklinde gerçekleşen finansal kayıplardır (Ahuja ve Khamba, 2008: 727).

3-Enerji kayıpları: Enerjinin verimli kullanılmamasına ilişkin kayıptır. Enerji kayıpları, ekipman bazında üretim yapılmadığı zaman harcanan elektrik, basınçlı hava, sıvı yakıt vb. enerji türlerinin getirdiği fazladan maliyettir (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 15).

Tablo 22: Üretim Performansını Etkileyen 16 Büyük Kayıp

Ekipman verimliliğini etkileyen 8 büyük kayıp		
1	Arıza kayıpları	Arızaya bağlı kayıplardır
2	Model dönüşü ve ayar kayıpları	Bu kayıplar operasyon şartlarındaki değişim sebebiyle gerçekleşirler. Model dönüşü sırasında, takımların değişmesi için belli bir duruş süresine ihtiyaç vardır
3	Başlama kayıpları	Üretim başladığı zaman, ekipmanın başlatılması, alıştırılması ve rejime girmesi sırasında yaşanan kayıplardır
4	İkmal ve doldurma kayıpları	Kesici takımların arızaya veya ömre bağlı sebeplerle değiştirilmesi sırasında yaşanan kayıplardır
5	Küçük duruşlar	Ekipman geçici olarak durduğunda ya da sensöre veya sıkışmaya bağlı takılmalar yaşandığında gerçekleşen kayıplardır
6	Hız kayıpları	Ekipmanın tasarlanan çevrim süresinden daha yavaş çalışmasına bağlı kayıplardır
7	Hurda ve yeniden işleme kayıpları	Kusur ve yeniden işleme bağlı üretim adedi ve zaman kayıplarıdır. Ürün kalitesinin düşmesiyle finansal kayıplar, kusurlu ürünlerin tamiri sebebiyle zaman kayıpları yaşanır.
8	Kapatma kayıpları	Ekipmanların planlı duruşlarından kaynaklanan kayıplardır
Çalışan verimliliğini etkileyen 5 büyük kayıp		
1	Lojistik kayıpları	Otomasyonun yetersiz olması sebebiyle gerçekleşen kayıplardır
2	Hat organizasyonu kayıpları	Hat tipi üretimlerdeki bekleme kayıplarıdır
3	Ölçme ve ayar kayıpları	Kalite hatalarının oluşumunun önlenmesi için sık sık yapılan ölçme ve ayar işlemleri sebebiyle yaşanan kayıplardır
4	Yönetim kayıpları	Yönetim kaynaklı bekleme kayıplarıdır
5	Harekete bağlı kayıplar	Hareket ekonomisi ihlaline bağlı kayıplarıdır

Üretim kaynaklarının kullanımına ilişkin 3 büyük kayıp		
1	Verim kayıpları	Giren malzeme ile çıkan kaliteli ürün arasındaki ağırlık farkına dayanan malzeme kayıplarıdır
2	Sarf malzeme kayıpları	Üretim sarf malzemelerinin (kalıplar, takımlar vb.) yeniden imali sebebiyle gerçekleşen finansal kayıplardır
3	Enerji kayıpları	Enerjinin etkin olmayan kullanımına ilişkin kayıplardır

Kaynak: Ahuja ve Khamba, 2008: 727.

2.4 TOPLAM ÜRETKEN BAKIM YÖNETİMİNDE EKİPMAN ETKİNLİĞİ

Nakajima (1988) TPM seviyesinin ölçümü için toplam ekipman etkinliği (OEE) kavramını tanıtmıştır. OEE kavramı, ekipmanın etkinlik düzeyini, kullanılabilirlik, performans ve kalite unsurlarının ortak etkisini değerlendirerek belirlemektedir. Bu bağlamda ekipmanın etkin olması, ekipmanın; planlanan üretim süresi içerisinde, planlanan hızda, istenen kalitede ürünü herhangi bir plansız duruş yaşamadan elde edebiliyor olması demektir (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 15). OEE kavramı, sadece bir makinanın etkinliğinin izlenmesiyle sınırlı değil, işletmenin tamamına uygulanması gereken ve tedarikçiden müşteriye kadar değer zincirinin tamamının verimliliğini değerlendirmesi gereken bir ölçüttür (Willmott ve McCarthy, 2001: 4).

Toplam ekipman etkinliği; kullanılabilirlik, performans ve kalite olmak üzere üç kategoride ele alınan, 7 büyük kayıp aracılığı ile belirlenmektedir. *Arıza, model dönüşü ve ayar, başlama ve ikmal-doldurma kayıpları*, ekipmanın kullanılabilirlik kaybının hesaplanmasında kullanılmaktadır. *Küçük duruşlar ve hız kayıpları*, ekipmanın performans kaybının ölçülmesinde kullanılmaktadır. *Hurda ve yeniden işleme kayıpları*, ekipmanın kalite kaybının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Sekizinci kayıp olan *kapatma kayıpları* ise ekipman kaynaklı olmayan ve OEE hesabına dahil edilmeyen kayıpları ifade eder. Şekil 25’de OEE yapısını ve ekipman kayıplarını gösteren şema verilmektedir. Şemada, bir vardiya süresi (8 saat), kayıp süreler de belirtilerek sembolize edilmiştir.

Şekil 26: OEE Yapısı

8saat				
	3saat			
5saat	40dak.	20dak.	60dak.	60dak.
DEĞER KATAN SÜRE	KALİTE KAYIPLARI	PERFORMANS KAYIPLARI	KULLANILABİLİRLİK KAYIPLARI	KAPATMA KAYIPLARI (planlı duruşlar)
8 saatlik kullanılabilir sürenin 5 saati değer katar	Hurda kayıpları 20dk. Yeniden işleme kayıpları 20dk.	Hız kayıpları 10dk. Küçük duruşlar 10dk.	Arıza kayıpları 30dk. Model dönüşü ve ayar kayıpları 10dk. Başlama kayıpları 0dk. İkmal ve doldurma kayıpları 20dk.	Planlı bakım 30dk. Elektrik kesilmesi 0dk. Basıncılı hava kesilmesi 0dk. Hammaddenin fabrikaya gelmemiş olması 20dk.
DEĞER KATAR	DEĞER KATMAZ	DEĞER KATMAZ	DEĞER KATMAZ	GEREKLİ AMA DEĞER KATMAZ
Değer Katan Süre (Dak)	300 dk.			
Net Üretim Süresi (Dak)	340 dk.			
Çalışma Süresi (Dak)	360 dk.			
Yükleme Süresi (Dak)	420 dk.			
Toplam Kullanılabilir Süre (Dak)	480dk.			

Kaynak: Gibbons ve Burgess, 2010; Özveri ve diğerleri, 2013.

Toplam kullanılabilir süre bir vardiya süresinin tamamıdır. Bu süreden kapatma kayıplarının çıkarılmasıyla *yükleme süresi* elde edilir. Yükleme süresinden kullanılabilirlik kayıplarının düşülmesiyle *çalışma süresi*, çalışma süresinden performans kayıplarının düşülmesiyle *net üretim süresi*, net üretim süresinden kalite kayıplarının düşülmesiyle *değer katan süre* elde edilir.

OEE seviyesinin belirlenmesi için öncelikle kullanılabilirlik, performans ve kalite kayıp oranlarının hesaplanması gerekmektedir. Şekil 25’deki sayısal değerler kullanılarak hesaplanan kullanılabilirlik, performans ve kalite kayıp oranları ile OEE hesabı aşağıda verilmiştir.

480 dakikalık toplam kullanılabilir süreden kapatma kaybının düşülmesiyle geriye 420 dakikalık yükleme süresi kalmıştır. 420 dakikalık yükleme süresinin 60 dakikası arıza, model dönüşü ve ikmal-doldurma duruşlarına kaybedilmiştir.

$$Kullanılabilirlik = \frac{\text{Çalışma süresi}}{\text{Yükleme süresi}} = \frac{(420 - 60)}{420} = 0,85 \rightarrow \%85 \dots \dots \dots (2.1)$$

Kalan 360 dakikalık çalışma süresinin 20 dakikası, hız kaybı ve küçük duruşlara kaybedilmiştir.

$$Performans = \frac{\text{Net üretim süresi}}{\text{Çalışma süresi}} = \frac{(360 - 20)}{360} = 0,94 \rightarrow \%94 \dots \dots \dots (2.2)$$

Kalan 340 dakikalık net üretim süresinin 40 dakikası, hurda ve yeniden işleme sebebiyle kaybedilmiştir.

$$Kalite = \frac{\text{Değer katan süre}}{\text{Net üretim süresi}} = \frac{(340 - 40)}{340} = 0,88 \rightarrow \%88 \dots \dots \dots (2.3)$$

Kullanılabilirlik, performans ve kalite kayıp oranlarının belirlenmesiyle OEE aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$OEE = \text{Kullanılabilirlik} \times \text{Performans} \times \text{Kalite} =$$

$$0,85 \times 0,94 \times 0,88 = 0,70 \rightarrow \%70 \dots \dots \dots (2.4)$$

Sonuç olarak, Ekipman etkinliği %70 olarak belirlenmiş ve bir vardiya süresinin %70'i değer katan süre olarak gerçekleşmiştir.

2.5 TOPLAM ÜRETKEN BAKIM ORGANİZASYONU

TPM uygulayan şirketlerde, her seviyede kurulan TPM takımlarının yapısı, çalışmalarda daha iyi iletişim ve koordinasyon sağlamak için birbirleriyle çakışır vaziyette olmalıdır. Bu takım yapısı TPM'in önemli karakteristiklerinden birisidir (Shirose, 1995: 5). Bu nedenle, TPM uygulamasının başarılı olabilmesi için organizasyon yapısının da başarılı bir şekilde oluşturulması gerekmektedir. Organizasyon yapısı üç ana başlık altında oluşturulur: TPM yürütme kurulu, TPM ofis ve TPM komiteleri.

2.5.1 TPM Yürütme Kurulu

Öncelikle TPM'in faydasına inanan üst düzey yöneticilerden oluşan bir yürütme kurulu kurulmalıdır. Bu kurul TPM'in vizyon, misyon ve hedeflerini belirler, faaliyet planlarını onaylar, TPM ofisin çözemediği problemlere destek verir (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 25). TPM uygulamasında üst yönetim desteği hayati öneme sahip olduğu için TPM yürütme kurulunun inancı ve desteği TPM uygulamasının başarılı olmasının temel şartıdır.

2.5.2 TPM Ofis

TPM ofis, TPM'in yayılması ve TPM ile ilgili konularda şirket çalışanlarına danışmanlık yapılması konularında destek veren bir birimdir. TPM ile ilgili tüm faaliyetlerin planlanmasından sorumludur ve temel olarak 8 büyük kaybın ortadan kaldırılmasına, planlı bakım sistemlerinin kurulmasına, sürekli iyileştirme kültürünün oluşturulmasına ve uygulama sırasında ortaya çıkan engellerin aşılmasına destek olmaktadır.

2.5.3 TPM Komiteleri

JIPM'in tecrübeleriyle oluşturduğu 8 sütun, TPM uygulamasının temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. TPM ilk olarak ortaya atıldığında, Nakajima (1988) tarafından odaklanmış iyileştirme, planlı bakım, otonom bakım, eğitim ve erken ekipman yönetimi olmak üzere 5 sütun oluşturulmuştur. Ancak günümüzde bu 5 sütuna kalite bakım, ofis TPM ve sağlık, emniyet ve çevre (SEÇ) sütunları eklenmiştir.

Tablo 23: TPM Komiteleri ve Görevleri

Komiteler	Görevler
Otonom bakım (OB)	Operatörün sahiplenmesini sağlamak Üretim ekipmanına temizlik, yağlama, sıkma, ayar, inceleme ve yeniden inceleme yapmak
Odaklanmış iyileştirme (OI)	Sistematik tanımlama ve 16 büyük kaybı yok etmek Gelişmiş sistem etkinliğini sağlamak Üretim sisteminin OEE'sini geliştirmek

Planlı bakım (PB)	Verimli ve etkin PM, PdM ve ZBB sistemlerini ekipmanın ömrü boyunca planlamak Planlı bakım kontrol formları oluşturmak MTBF ve MTTR'ı geliştirmek
Kalite bakım (KB)	Sıfır hataya ulaşmak Ekipman problemlerini ve kök nedenlerini izlemek ve tespit etmek 3M (makine/insan/malzeme) şartlarını oluşturmak
Eğitim	Çalışanların çeşitli yeteneklere sahip olmasını sağlamak Çalışanları örgüt hedeflerine uygun hale getirmek Periyodik olarak yetenek değerlendirmesi ve güncellemesi yapmak
Erken yönetim	Yeni ekipmanın zamanında kurulması ve en az probleme sahip olmasını sağlamak Mevcut sistemden öğrenilenleri yeni sistemde değerlendirmek
Ofis TPM	Çeşitli iş birimleri arasında sinerji geliştirmek Prosedürel güçlükleri ortadan kaldırmak Maliyet ile ilgili konulara odaklanmak
Sağlık, emniyet ve çevre (SEÇ)	Güvenli çalışma ortamını sağlamak Yaralanma ve kaza olaylarını yok etmek Standart kullanım dokümanları sağlamak

Kaynak: Ahuja ve Khamba, 2008: 722.

TPM'in uygulandığı şirketlerde her bir yapı taşı için bir komite oluşturulmuştur. TPM uygulamasının sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için tüm yapı taşlarına gereken önem verilmelidir ve tek bir yapı taşının diğerlerinden zayıf olmasının TPM uygulamasının tamamını tehlikeye sokacağı unutulmamalıdır (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 25). Komiteler ve görevleri tablo 23'de özetlenmiş, komitelerin genel özellikleri ve işleyişleri ise aşağıda tek tek ele alınmıştır.

2.5.3.1 Otonom Bakım Komitesi

Otonom bakım, operatörlerin; makinalarının ve ürünlerinin bakım ve kalite işlerini destek almadan kendilerinin yapabileceği yeterliliğine sahip olmalarıdır (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 50). Bu tanıma göre otonom bakım, operatörün kendi makinasına kendisinin bakması anlamına gelmektedir. Otonom bakımda operatörler makinalarının temizlik, yağlama ve kontrol işlerini kendileri yaparlar.

İleri seviyelerde operatörler bazı bakım görevlerini bakım bölümünden devralabilirler. Chan ve diğerleri (2005: 75)'nin çalışmasına göre operatörlerin otonom bakım sorumlulukları aşağıda sıralanmıştır:

- Temel ekipman koşullarının bakımını yapmak (Temizlik, yağlama, kontrol)
- Kullanma koşullarının bakımını yapmak (Doğru kullanma ve görsel kontrol)
- Kullanım sırasında, görsel kontrol yaparak kötüye gidişi fark etmek ve anormallik belirtilerini erken teşhis etmek
- Ekipman kullanma, model dönüşü ve ayar gibi yeteneklerini geliştirmek

Operatörlerin sorumluluklarına karşılık, bakım personelinin otonom bakım sorumlulukları ise aşağıda verilmiştir (Chan ve diğerleri, 2005: 75):

- Otonom bakım çalışmalarına teknik destek sağlamak
- Kontrol, inceleme ve genel bakım araçlarını kullanarak bozulan yerleri tamamıyla ve doğru olarak onarmak
- Tasarım zayıflıklarını izleyerek kullanım standartlarını belirlemek ve uygun iyileştirmeyi yapmak
- Kontrol, izleme, inceleme ve genel bakım için bakım yeteneklerini arttırmak

Otonom bakım planı, hedeflerine ulaşmak için üretim ve bakım çalışanlarından oluşan takımları, ekipmanın mevcut durumunu koruyacak günlük aktiviteleri, operatör yeteneklerini geliştirmek için çapraz eğitimi ve operatörlerin bakım sürecine katılımını içermelidir (Mckone ve diğerleri, 1999: 126). Otonom bakım bu tanıımı destekleyecek içeriğe sahip olan 7 adımlı bir uygulama planı aracılığı ile hayata geçirilir. Otonom bakım uygulamasında başarı elde edebilmek için bu adımlar titizlikle uygulanmalıdır. İyi bir otonom bakım uygulamasının sonucunda tablo 24'de verilen özelliklere sahip operatörler elde edilir.

Tablo 24: Otonom Bakım Uygulaması ile Operatörlerdeki Değişim

Farkındalık	Yetkinlik
Normal ve anormal durum	Ekipmanda oluşan arıza belirtilerini teşhis edebilme
	Ürün kalitesine etki edebilecek anormal çalışma koşullarını teşhis edebilme
	Mekanizma ve fonksiyonların işleyişleri ve ilişkileri hakkında bilgi sahibi olma
Problem çözme becerisinin gerekliliği	Çalışma sahasındaki hatalı koşulları düzeltebilme
	Ekipman üzerinde tamir yapabilme
	Ürün üzerinde tamir yapabilme
	Mevcut çalışma koşullarını iyileştirebilme
Standartlarla çalışmanın önemi	Standart oluşturabilme, kural koyabilme ve kuralları izleyebilme
Benim makinam, bizim fabrikamız	Kendi başına karar alabilme
	Ekip halinde çalışabilme

Kaynak: Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 53.

Otonom bakım uygulama adımlarına başlamadan önce hazırlık yapılmalıdır. Sıfıncı adım olarak adlandırılan bu aşamada, operatörlerin; makinanın kötüye gitmesi hakkında düşüncelerini ve neden otonom bakım yaptıklarını anlamalarını sağlamak amaçlanır (JMAC, 2014: 77). Bu adımda, misyon ve vizyon ortaya konulur, hedefler belirlenir, öncelikler belirlenir, takım ve faaliyet planı oluşturulur (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 53). Sıfıncı adım gereklilikleri yerine getirilerek, otonom bakım için gerekli motivasyon sağlanmış olur. Otonom bakım adımları ve açıklamaları tablo 25’de verilmiştir.

Tablo 25: Otonom Bakım Adımları

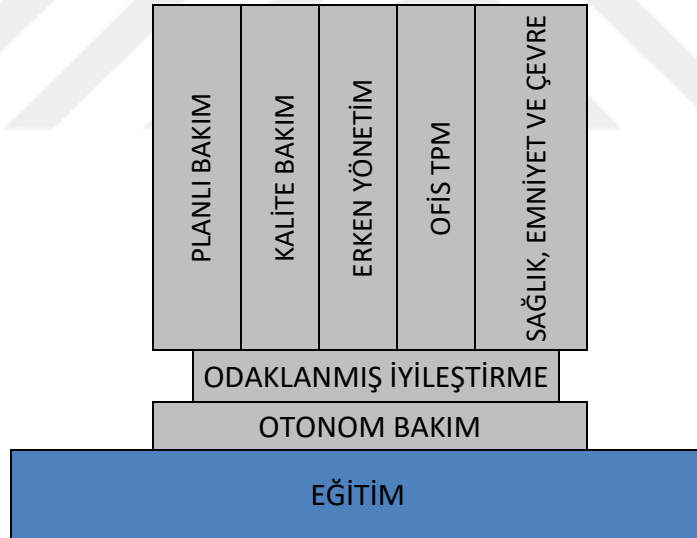
Adım	İsim	Açıklamalar
1	Başlangıç temizliği	Ekipmanın ana gövdesindeki toz ve kir ortadan kaldırılır, ekipman yağlanır ve sıkılık kontrolü yapılır Hatalar, kirlilik kaynakları, ulaşılması güç noktalar, kalite hatası kaynakları vb. tanımlanır Gereksiz ekipman ortadan kaldırılır ve kalan ekipman basitleştirilir
2	Kirlilik kaynaklarının ortadan kaldırılması	Toz, kir ve diğer kirlilik kaynakları yok edilerek temizlik zamanı azaltılır Temizlenmesi ve erişimi güç bölgeler iyileştirilir
3	Geçici standartların oluşturulması	Temizlik, yağlama, sıkma ve kontrol işlerinin en az zaman ve en az gayret ile sürekliliğini sağlamak için geçici standartlar oluşturulur Görsel kontrol hayata geçirilerek denetim etkinliği artırılır
4	Genel denetim	Operatörlere kontrol prosedürü öğretilir Operatörlerin ekipman yapısını anlaması ve ekipmanın yüksek etkinlikte çalışmasını sağlayacak bilgi ve beceriye sahip olması sağlanır
5	Otonom denetim	Belirlenmiş temizlik, yağlama ve kontrol standartları tekrar incelendikten sonra otonom denetim kontrol listelerine taşınır ve hayata geçirilir
6	Standardizasyon	Aşağıdaki maddeler için ek standartlar düzenleyerek kapsamlı bir bakım ve temizlik sistemi geliştirilir; -Sahadaki malzemelerin geliştirilmesi -Veri kaydı -Kalıp, master ve takımların kontrolü -Süreçteki kalite güvence verisi
7	Otonom yönetim	Şirketin ve fabrikanın politika ve hedefleriyle paralel çalışmalar yapılır ve iyileştirmeler işin sıradan bir parçası haline getirilir Kendi enerjisini üreten insanlar yaratılır

Kaynak: Willmott ve McCarthy 2001; Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011; JMAC, 2014.

2.5.3.2 Odaklanmış İyileştirme Komitesi (Kobetsu Kaizen)

Japonya’da ortaya çıkmış olan kaizen kavramı, sürekli iyileşme anlamına gelmektedir. Japoncada “kai” değişim, ”zen” ise iyi anlamlarına gelmektedir. Tiryakioğlu ve diğerleri (2011: 27)’e göre kaizenlerin ana fikri, ekip veya bireysel olarak, insanın sorumlu olduğu alanlarda, sürekli küçük iyileştirmeleri bulması ve uygulamasıdır. Kaizen ile yenilik karıştırılmamalıdır. Yenilik, büyük yatırım gerektiren, kısa vadede gerçekleşen ve yeni bir ekipman veya makine alımını gerektiren değişikliklerdir. Kaizen ise mevcut şartlarda, kimi zaman ek olarak hiçbir şey gerektirmeden küçük adımlarla yapılan iyileştirmelerdir. Sanayi açısından kaizen, bir amaç doğrultusunda, üretim yönteminde veya ürün özelliklerinde küçük değişiklikler yapılarak çıktılarda sağlanan iyileşmelerdir (Eskin ve diğerleri, 2011: 10).

Şekil 27: Odaklanmış İyileştirme Komitesinin Diğer Komitelerle İlişkisi



Kaynak: Jmac, 2014: 40.

Odaklanmış iyileştirme komitesinin amacı, öncelikli olarak kaizen kültürünü şirketin tamamına yaymak, sistematik olarak kayıpları yok etmek ve OEE’yi geliştirmektir. Komitenin hedeflerine ulaşmak için diğer komitelerle olması gereken ilişkisi şekil 26’da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kaizen komitesi merkezde yer

almakta, eğitim ve otonom bakım temeli üzerinde bulunmakta ve geriye kalan tüm komiteler için bağlantı noktası konumunda durmaktadır.

Temelde iki tip kaizen çeşidinden söz edilebilir. Bunlar önce-sonra kaizenler ve kobetsu kaizenlerdir. Önce sonra kaizenler, pratik yapıda ve küçük çaplı olup bir olumsuzluğun fark edilmesi ve hızlı bir şekilde giderilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Problemin tanımlanması ve uygulamanın yapılması aşamalarında veri toplama, veri analizi veya kök neden analizi gibi işlemler yapılmaz. Sürekli arızalanan sensör kablusunun ortam şartlarına dayanıklı sensör kablosu ile değişimi önce-sonra kaizene örnek olarak verilebilir. Önce sonra kaizenler, ekipman veya ürün üzerinde performans/maliyet iyileştirmesi yönünde yapılabildiği gibi, 5S'e yönelik, iş güvenliği ve işçi sağlığına yönelik veya çevre ve enerji kullanımına yönelik de olabilir.

Tablo 26: Kobetsu Kaizen Uygulama Adımları

Kobetsu kaizen uygulama adımları
1-Model çalışma şekli belirlenir, formlar hazırlanır
2-Problem alanı seçilir
3-Proje ekibi kurulur
4-Kayıplar belirlenir
5-Kaizen hedef ve sorumlulukları belirlenir
6-Plan hazırlanır
7-Veri toplanır ve izlenir
8-Kaizenler uygulanır
9-Etkinlik ölçülür, kontrol edilir
10-Önerilenler tekrarlanır, yaygınlaştırılır

Kaynak: Eskin ve diğerleri, 2011: 42.

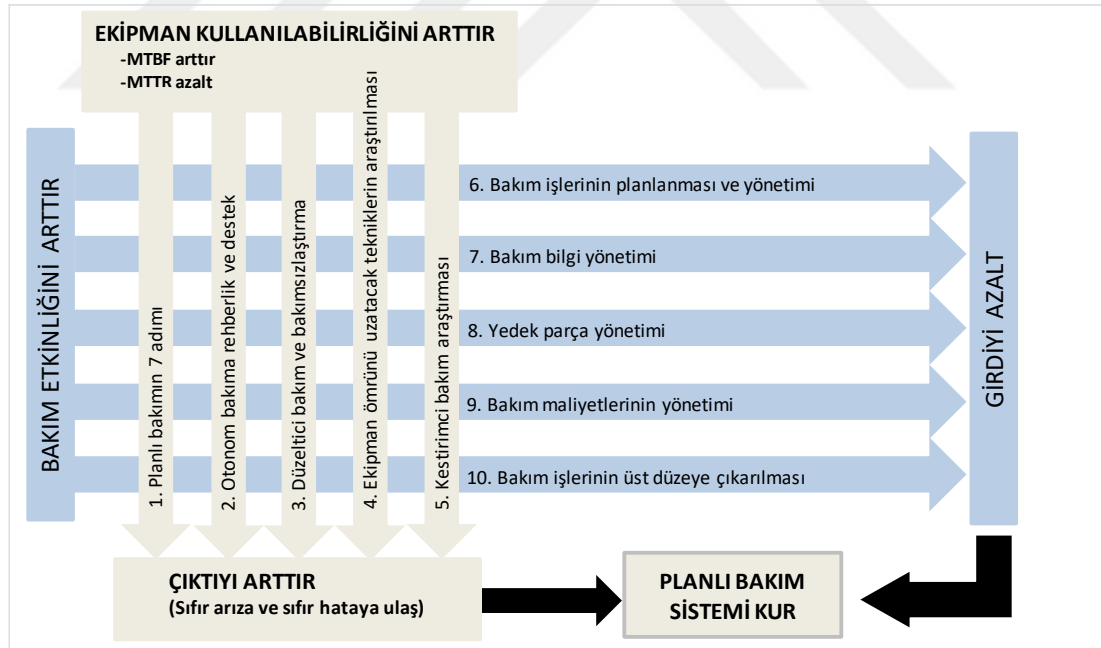
Kobetsu kaizenler ise daha kapsamlıdır ve problemin çözülmesi için probleme ilişkin verilerden yoğun bir şekilde faydalanılması gerekir. Daha ziyade sürekli tekrarlayan problemlerin çözülmesinde yararlanılan kaizen tekniğinin uygulanabilmesi için kaizen ekibinin eğitim alması gereklidir. Eskin ve diğerleri (2011: 41)'ne göre kobetsu kaizen; sürekli tekrarlayan kayıpların azaltılmasına yönelik bir ekip tarafından istatistik yaparak, ölçerek, problemleri analiz ederek, ortak çözümler olarak yapılan metodik iyileştirme'dir. Kobetsu kaizen uygulamasında 10 adımlı bir uygulama planından yararlanılır. Bu plan tablo 26'da verilmiştir. Kobetsu kaizen

çalışmalarının süreleri uzundur ve uygulama tamamlandıktan sonra belli bir süre izlenerek elde edilen sonuçların doğrulanması gereklidir. İzleme sonucunda elde edilmesi beklenen sonuçlar doğrulanamaz ise uygulama aşamalarının en başına dönmelidir.

2.5.3.3 Planlı Bakım Komitesi

Planlı bakımın amacı, sıfır arıza ve sıfır kalite hatası ile ekipmanı güvenilir kılmak ve en küçük maliyetle verimliliği yakalamaktır (JMAC, 2014: 113). Planlı bakım yönetimi genel olarak; önleyici bakım, arıza bakım ve düzeltici bakım olmak üzere 3 başlık altında değerlendirilebilir. *Önleyici bakım*; zaman bazlı bakım (ZBB) tekniğinin kullanıldığı periyodik bakım ve koşul bazlı bakım (KBB) tekniğinin kullanıldığı kestirimci bakım olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. *Arıza bakım*; ekipman arızalandıktan sonra tamir amaçlı yapılan bakım türüdür. *Düzeltilici bakım* ise ekipman ömrünü uzatacak, güvenilirliğini artıracak işlerin yapıldığı bakım türüdür.

Şekil 28: Planlı Bakımın Uygulama Politikası



Kaynak: JMAC, 2014: 120.

JIPM tarafından planlı bakım uygulama politikası olarak 10 sütunlu bir yapı önerilir. Şekil 27 ile verilen yapı ekipman kullanılabilirliği ve bakım verimliliğini arttırmak üzerine kuruludur. Bir işletmede, belirtilen 10 adım uygulanarak planlı

bakım sistemi kurulabilir. İlk beş adım ekipman kullanılabilirliğini arttırmak üzerine yapılan çalışmalardan oluşur. Bu adımlardan ilki planlı bakımın 7 aşamasının uygulanmasını içermektedir. İkinci adım, otonom bakıma rehberlik edilmesi ve destek verilmesi faaliyetlerini kapsar. Üçüncü adımda, düzeltici bakım ve bakımsızlaştırma çalışmalarına önem verilir. Dördüncü adım, ekipman ömrünü uzatacak çalışmaların ve araştırmaların yapıldığı bir aşamadır. Beşinci adım ile beraber kestirimci bakım uygulamalarına başlanır. İlk beş adımın uygulanması neticesinde, sıfır hata ve sıfır arızaya ulaşılarak çıktının artırılması hedeflenir.

İkinci grup beş adım, bakım gerçekleştirme etkinliğini arttırmak üzere yapılan çalışmalardan oluşur. İkinci grubun ilk adımı olan altıncı adım bakım işlerinin planlanmasını, yedinci adım bakım bilgi yönetimini, sekizinci adım yedek parça yönetimini, dokuzuncu adım bakım maliyetlerinin yönetimini ve onuncu adım bakım işlerinin bir üst seviyeye çıkarılmasını kapsar. İkinci grup beş adımın uygulanması neticesinde girdinin azaltılması hedeflenir.

Planlı bakımın 10 sütunlu uygulanma politikasının birinci sütununda yararlanılan 7 aşama tablo 27’de verilmiştir. Ayrıca bu 7 aşamanın otonom bakımın aşamalarıyla olan ilişkisi tabloda gösterilmiştir.

Planlı bakımın sıfır arıza hedefini gerçekleştirmek için beş karşı önlemden söz edilir (JMAC, 2014: 116). Bu karşı önlemler ve karşı önlemlerin TPM sütunlarıyla ilişkisi şekil 28’de verilmiştir. Verilen karşı önlemler 5 temel arıza sebebinden gelmektedir. Bunlar; ekipmanın temel şartlarının yerine getirilmemesi, ekipmanın çalışma şartlarının yerine getirilmemesi, ekipmanın kötüye gidişinin kontrol edilmemesi, ekipmanın zayıf noktalarının düzeltilmemesi ve insan hatasıdır. Ekipman arızalarının temel nedeni olarak değerlendirilen beş husus, planlı bakım komitesinin önemle üzerinde durması gereken bir konudur. Ancak arızaların sıfırlanması, sadece planlı bakımın faaliyetleriyle değil şekil 28’de verildiği gibi diğer komitelerin de bu konuya destek vermesiyle mümkün olabilecektir.

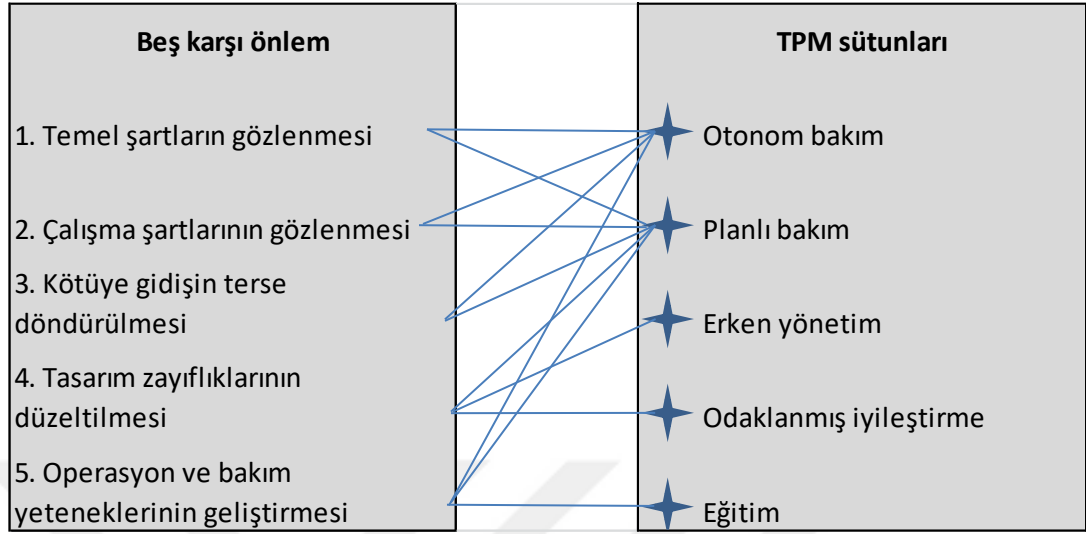
Tablo 27: Planlı Bakımın 7 Aşaması

Aşama	Planlı bakım (Ekipman bazında)	Planlı bakım (Komponent bazında)	Otonom bakım
1	Mevcut durum ile ideal durum arasındaki farkların analizi	Kritik komponentlerin seçilmesi	Başlangıç temizliği
2	Mevcut durum ile ideal durum arasındaki farklılıkların düzenlenmesi	Mevcut bakım yönteminin geliştirilmesi	Kirlilik kaynaklarının ortadan kaldırılması
3	İdeal durumu sürdürebilmek için standartların oluşturulması	Bakım standartlarının oluşturulması	Geçici standartların oluşturulması
4	Ekipmanın çalışma ömrünün uzatılması ve zayıflıkların yok edilmesi	Ekipmanın çalışma ömrünün uzatılması ve zayıflıkların yok edilmesi	Genel denetim
5	Kontrolün ve servisin oluşturulması	Kontrolün ve servisin oluşturulması	Otonom denetim
6	Kapsamlı ekipman tanılamasının yapılması	Kapsamlı ekipman tanılamasının yapılması	Standardizasyon
7	Ekipman kullanımının en üst seviyeye çıkarılması	Ekipman kullanımının en üst seviyeye çıkarılması	Otonom yönetim

Kaynak: JMAC, 2014: 120.

Planlı bakım genellikle üst düzey yetenekli bakım personeli tarafından yapılan işleri kapsamaktadır (Mckone ve diğerleri, 1999: 126). Otonom bakım ile beraber operatörler günlük bakım işlerini yapmayı öğrendikleri için bakım personeli, bakım becerilerini daha verimli olacakları görevlere aktarabilmektedir. Bu görevler arasında makine tasarımında bulunan zayıf noktaların iyileştirilmesi, bakım yönetiminin daha proaktif yaklaşımla ele alınması ve yıllık bakım planlarının kontrol altında tutulması sayılabilir.

Şekil 29: Sıfır Arıza için Karşı Önlemler ve TPM Sütunları ile İlişkisi



Kaynak: JMAC, 2014: 117.

2.5.3.4 Kalite Bakım Komitesi

Kalite bakım, kaliteyi inşa etmek ve kalite kusurlarını önlemek için yapılan aktiviteler bütünüdür. Kalite bakım sürecinde ürün kalite karakteristiğinde değişkenliğe sebep olan ekipman bileşenleri tanımlanır ve kontrol edilir (Al-Hassan ve diğerleri, 2000: 599). Başarılı bir kalite bakım uygulaması için yapılması gerekenler ve aynı zamanda kalite bakımının tanımını oluşturan hususlar aşağıda sıralanmıştır (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 75; JMAC, 2014: 167):

- Hata üretmeyen süreçler için sıfır hata koşullarının tespiti
- Koşulların planlı ve sistematik olarak ölçülmesi ve kontrolü
- Ölçülen değerlerin standartlar içinde kalmasının sağlanması
- Ölçüm sonuçlarındaki eğilimler izlenerek hata oluşumunun önceden tahmin edilmesi

- Eğilim sonuçlarına göre hata oluşmadan harekete geçilmesi

Kalite bakımın temel amacı, kaliteyi, nedenleri aracılığıyla kontrol etmektir (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 75). Bu bağlamda, hata nedenlerine yoğunlaşarak, hatalar meydana gelmeden önce önlem alınabilirse üstün kalite düzeyi sağlanabilecektir.

2.5.3.5 Eğitim Komitesi

TPM'i öğrenmenin tek yolu, onu uygulamaktır ancak, uygulamaya başlamadan önce hazırlık yapmak ve farkındalık yaratmak çok önemlidir. Bu bağlamda, TPM programına başlamadan önce aşağıda belirtilen eğitim ile ilgili konular anlaşılmalı ve açıkça tanımlanmalıdır (Willmott ve McCarthy 2001:72-73).

- 1-Eğitimin amacı belirlenmeli
- 2-Eğitim amaçları belirlenmeli
- 3-Eğitim yöntemi kararlaştırılmalı
- 4-Eğitim planı ve eğitim modülleri hazırlanmalı
- 5-Eğitim ve farkındalık programı tasarlanmalı

Tablo 28: Operatör ve Bakım Personeli için İhtiyaç Duyulan Yetenekler

Operatörler	Bakım personeli
Ekipmandaki problemleri tespit etme ve sürekli iyileştirmeyi sağlama	Günlük bakım ve makinanın doğru kullanılması hakkında operatörleri eğitme
Makinasının yapısını ve fonksiyonlarını anlama ve anormalliklerin kök nedenlerini keşfetme	Ekipmanda bir şeylerin ters gittiğini anlayabilme
Makine ve kalite arasındaki ilişkiyi anlama ve kalite problemlerini öngörme ve tespit etme	Problemlerin kök nedenlerini araştırma ve en uygun yöntemle doğru bir şekilde çözme
Onarım yapma	Ekipmanın bakım yapılabilirliğini artırma
Bağımsız olarak veya diğer departmanlarla uygun konular üzerine odaklanmış iyileştirme yapma	Makine ve bileşenlerinin güvenilirliğini artırma

Kaynak: JMAC, 2014: 194-195.

TPM eğitim sistemi, otonom yönetime hazırlık ve işe yönelik yetiştirmeyi amaç edinir ve eğitim sonunda; bilgi ve beceri seviyesi yüksek, motivasyonu yüksek, yaptığı işin şirket hedeflerine katkısını bilen ve hedefler doğrultusunda çalışan işgücü elde edilmesi beklenir (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 92). Bu nedenle eğitim, TPM'in temel ve en önemli faaliyetlerinden birisidir. Ekipman performansının geliştirilmesi, arızaların sistemli bir şekilde azaltılması, TPM bilincinin yayılması,

hata oranının azaltılması gibi tüm komiteleri ilgilendiren pek çok hedef, eğitim temeline dayanmaktadır. Verilecek olan eğitim sonucunda ulaşılması hedeflenen ve operatörler ve bakım personeli için en çok ihtiyaç duyulan yetenekler tablo 28’de verilmiştir.

2.5.3.6 Erken Yönetim Komitesi

Erken yönetim, örgütün geçmiş tecrübelerinden öğrendiklerini gelecek projelerde kullanması anlamına gelmektedir. Erken ekipman ve erken ürün olmak üzere iki türde ele alınmaktadır. Erken yönetimin amaçları aşağıda verilmiştir (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 80):

- 1-Geçmişte yapılan hataların tekrarlanmaması
- 2-Ekipman veya ürünün satın alma bedelinden çok yaşam boyu maliyetinin önemsenmesi
- 3-Ekipman ve ürünün temin süresinin en aza indirilmesi
- 4-Maliyetlerin düşürülmesi
- 5-Örgütün tüm tecrübelerinin ortak bir platformda toplanarak kişilerden bağımsız hale getirilmesi

Erken yönetim komitesinin ve TPM felsefesinin etkili kullanımı, şirketlere olağanüstü güçlü ticari bir avantaj sağlayacaktır. Tasarımcılar, mühendisler, teknolojistler, satın almacılar, finansçılar, üretim ve bakım personelin tüm olumsuzlukları kaynağında önleyerek, şirketin OEE’sini arttırmak üzere özel iş ortakları olarak beraber çalışacaklardır (Willmott ve McCarthy 2001: 74).

Erken yönetim uygulamasının birinci adımında, mevcut durum analiz edilir. Sonraki adımda erken yönetim sistemi kurulur, ardından yeni sistem test edilir ve eğitimleri tamamlanır. Dördüncü adımda ise yeni sistem sunulur, sonuçlar değerlendirilir ve firmanın tamamına kurulduğundan emin olunur (JMAC, 2014: 145-146).

2.5.3.7 Ofis TPM Komitesi

İdari bölümlerde çalışanlar, üretim etkinliğini ve ofislerin etkinliğini arttıracak ve üretimi destekleyecek bazı çalışmalar yapmalıdırlar (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 88). Bu çalışmalar arasında; bölümler arasındaki sinerjiyi arttırma, prosedürel engelleri ortadan kaldırma, maliyet ile ilgili sorunları tanımlamaya

odaklanma ve ofislerde ve çalışma alanlarında 5S uygulanması sayılabilir (Ahuja ve Khamba, 2008: 722). Ofis TPM faaliyetlerinde, üretime direk destek olan süreçlerden başlanarak yapılacak analiz ile aşağıdaki hususlar ortaya çıkarılmalı ve şirkete yarattıkları zarar belirlenmelidir (Tiryakioğlu ve diğerleri, 2011: 89):

- Bilgi akışındaki kopukluk
- Üretim akışındaki kopukluk
- Gereksiz ve/veya tekrarlı işler
- Uzun zaman alan operasyonlar ve onay süreçleri
- Süreçlerde sık tekrarlanan hatalar
- İşletme içindeki gizli işletmeler

2.5.3.8 Sağlık, Emniyet ve Çevre Komitesi

TPM uygulamasında sağlıklı, emniyetli ve çevre ile dost fabrikalar oluşturulmasına özen gösterilmektedir. Bu nedenle, kaza olaylarının sıfırlanması, güvenli çalışma alanı şartlarının sağlanması, çevrenin korunması hedeflerinin başarılmasına gayret gösterilir. Sağlık, emniyet ve çevre konusunda hedeflere ulaşmak için önemli olan güvenlik politikaları aşağıda verilmiştir (JMAC, 2014: 235):

- İşletmedeki tüm operasyonların temeli güvenlidir
- Güvenlik ile yüksek üretkenlik beraber ilerler
- Güvenlik iyileştirmeleri daha etkin üretime sebep olur
- Güvenlik iletişimi geliştirir
- Güvenlik ekipmana bağlı kayıpları önler

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ALTI SİGMA BAKIM

Üçüncü bölümde, Altı Sigma Bakım (SSM) kavramı açıklanmış ve mevcut SSM uygulamaları ve modelleri incelenmiştir. Ardından işletmelerin bakım bölümlerinde uygulanmak üzere bir SSM modeli önerisi geliştirilmiştir. Önerilen model ile gerçekleştirilecek uygulamaların performansını belirlemek üzere öncelikle mevcut SSM performans ölçüm sistemleri incelenmiş ve sonrasında önerilen modelin performansını ölçmek için bir performans göstergesi geliştirilmiştir. Geliştirilen performans göstergesi ile bakım yönetimine Altı Sigma felsefesinin entegre edilmesinin performansa olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

3.1 ALTI SİGMA BAKIM KAVRAMI

Altı Sigma Bakım (SSM) kavramı, ilk kez Thomas ve diğerleri (2008)'in çalışmasında ortaya atılmıştır. SSM yaklaşımı, TPM ve Altı Sigma stratejilerinin eş zamanlı faydasından yararlanmaya odaklanmaktadır. Bu faydayı sağlamak üzere, SSM modelinin uygulamasında DMAIC döngüsü temel yaklaşım olarak kullanılır (Thomas ve diğerleri, 2008: 263).

SSM yaklaşımı tasarlanırken, DMAIC döngüsünün TPM stratejisi için temel oluşturacağı düşünülmüş ve bu döngü TPM projesinin ana aşamalarını adapte etmek için standart yaklaşım olarak kullanılmıştır. Aşağıda SSM modeli için oluşturulan DMAIC döngüsünün aşamaları açıklanmıştır (Thomas ve diğerleri, 2008: 264):

Tanımlama: Üretim hatları, “zamanında teslimat” ve “ilk seferde doğru” kalite seviyeleriyle karşılaştırılır. Şirketteki kritik üretim süreçlerinin analiziyle hurda oranında ve zamanında teslimatta iyi durumda olmayan üretim hattı seçilir. Tanımlama aşaması, TPM takımının oluşturulmasıyla başlar. Takım üyelerinin TPM prensipleriyle eğitilmesinin yanında, seçilen hatta belirli bakım projelerine başlamadan önce otonom temizlik ve takım çalışmalarının başlatılmasını hedefleyen 5S çalışması uygulanır.

Ölçme: Seçilen hatta bulunan tüm makinaların OEE değeri hesaplanır. Bunun yanında verimsizliğin makinaya mı yoksa makine etrafındaki sürece mi bağlı olduğunu belirlemek için her bir makinanın ürün çıkışı ölçülür. Böylece düşük

çıktının sebebi olan makine belirlenir ve projenin devamında bu makinaya odaklanılır.

Analiz: Belirlenen makinanın OEE değeri; kullanılabilirlik, performans ve kalite bileşenlerine ayrılır. OEE değerinin zayıf olmasının hangi bileşenden kaynaklandığı tespit edilir. Örneğin, kullanılabilirlik kaybı sebebiyle OEE değeri düşük ise makine arızaları ve duruşlar bunun ana nedenidir. Bu noktadan sonra problemin kök nedenleri belirlenmek üzere çeşitli analizler yapılır. Böylece, potansiyel arıza sebepleri, bu sebeplerin makine üzerine etkileri ve bu etkileri gidermeye yönelik düzeltici faaliyetler belirlenir.

İyileştirme: Belirlenen makinanın güvenilirliğini arttırmak için üç seviyeli bakım planı uygulanır. Bakım seviyeleri ve içerikleri tablo 29’da verilmiştir. Seviye 1, otonom bakım çalışma grupları içindir. Bu gruplar, temel bakım uygulamalarını gerçekleştirirler. Seviye 2, bakım bölümü tarafından yapılan çalışmaları ifade eder. Bu çalışmalar, makinanın baştan aşağıya bakıma alınmasını ve büyük bakım işlerini içerir. Seviye 3, önleyici bakım uygulamalarının geliştirilmesinde daha proaktif olan mühendislik bölümünün çalışmalarını kapsamaktadır.

Tablo 29: Bakım Seviyeleri ve Aktiviteleri

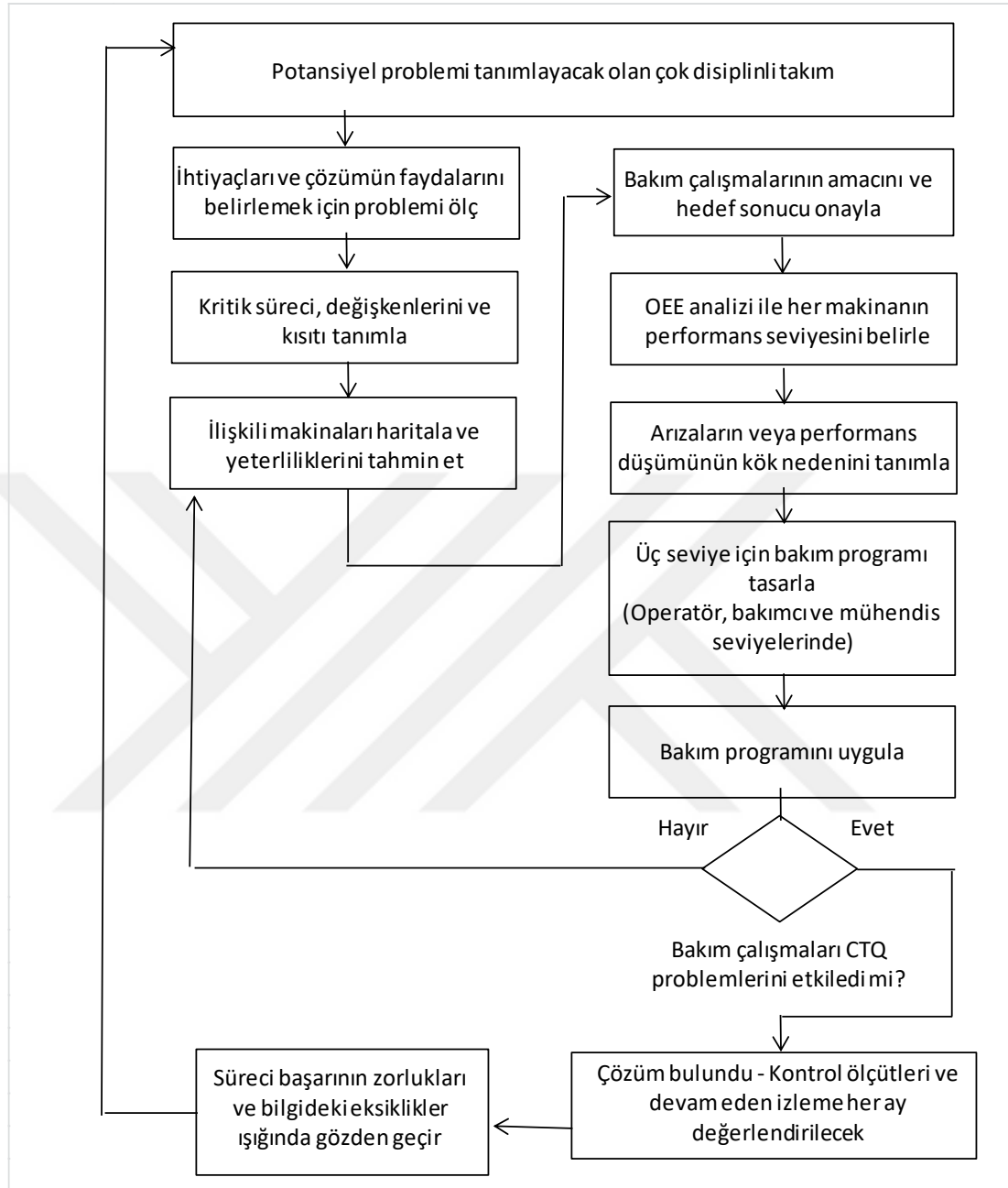
Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
-Temizlik -Makine koruma planları -Duyusal bakım (Dinleme, hissetme, koklama, vb.)	-Makine genel bakımı -Büyük bakım -Seviye 1 izleme	-Makine yeniden tasarımı -MTBF analizi ve sürekliliği -Seviye 2 izleme

Kaynak: Thomas ve diğerleri, 2008: 266.

Kontrol: Kontrol aşamasında, makinaların bakım programları ve planları hazırlanır ve her bir makinaya eklenir. Tüm operatörler bakım programlarını uygulamak üzere ve sorunları bakım bölümüne aktarmak üzere eğitilirler. Kontrol mekanizması olarak, operatörlerin çalışmalarını izlemek bakım bölümünün sorumluluğundadır. Mühendislik bölümü ise tekrar eden arızaları ve iyileştirme gereken noktaları belirler ve bakım bölümünün çıktılarını izler.

Yukarıda açıklanan ana aşamaları içeren, Thomas ve diğerleri (2008) tarafından önerilen SSM modeli şekil 29’da verilmiştir.

Şekil 30: Bütünleştirilmiş SSM Modeli



Kaynak: Thomas ve diğerleri, 2008: 269.

2008 yılında ortaya atılan SSM kavramının Thomas vd. tarafından tanıtımı yapılmadan önce ilk kullanıldığı çalışma, Inozu ve Radovic (2002)'in gemi bakım yönetimi süreçleri üzerine gerçekleştirdiği çalışmadır. Bu çalışmada, Altı Sigma DMAIC döngüsü olduğu haliyle bakım problemleri için kullanılmıştır. Thomas vd. (2008)'in SSM çalışmasındaki gibi DMAIC aşamaları yeniden tasarlanmamıştır.

Holtz ve Campbell (2003)'ın Ford fabrikasında gerçekleştirdikleri çalışmada, Altı Sigma DMAIC çevriminin bakım problemlerinde uygulanması üzerine bir vaka analizi yapılmıştır. Çalışmada, Altı Sigma DMAIC adımları orijinal hali ile bakım sorunlarını çözmeye yönelik olarak kullanılmıştır. Ford fabrikasında Altı Sigma, bakım ile ilgili pek çok konuda kullanılmasının yanı sıra, asıl olarak bakım çalışmalarına doğrudan katkı sağlayacak aşağıdaki amaçlar için kullanılmıştır:

- Arızaları azaltmak
- İşgücünü azaltmak
- Ekipman etkinliğini arttırmak
- Müşteri tatminini arttırmak

2005 yılında yayınlanan Milosavljevic ve Rall'ın çalışmalarında, mevcut bakım yöntemleri bütünleştirilerek, dünya klasında bakım süreci (WCMP) önerilmiştir. WCMP modeli sekiz adımlı bir uygulama prosedüründen oluşmakta ve bu adımlardan biri TPM yaklaşımının şirkette uygulanmasını içermektedir. Altı Sigma performansına ulaşmak üzere, TPM yaklaşımı ile Altı Sigma yaklaşımının bütünleştirilmesi için ise DMAIC modelinden yararlanılmıştır. Böylece Altı Sigma ile bütünleştirilmiş bir WCMP yaklaşımı geliştirilmiştir. Bir anlamda, Altı Sigma Bakım (SSM) sürecine ulaşmak için WCMP modelinin aşamaları DMAIC aşamaları ile birleştirilir. Aşağıda tüm aşamaları verilen WCMP modelinin ilk iki aşaması DMAIC modelinin tanımlama aşaması ile, 3. ve 4. aşamaları ölçme aşaması ile, 5. ve 6. aşamaları analiz aşaması ile, 7. ve 8. aşamaları iyileştirme aşaması ile ilişkilidir. DMAIC döngüsü kontrol aşaması ise WCMP modelinin tüm aşamaları ile ilişkilidir.

- 1-) WCMP'ye başlama kararı almak
- 2-) WCMP'yi uygulamak için katılımcılara eğitim vermek
- 3-) Mevcut bakım süreçlerinin kaydı
- 4-) Bakımdaki önemli süreçlerin belirlenmesi
- 5-) WCMP uygulaması için kapsama alanını ve aşamaları tanımlama
- 6-) TPM yaklaşımının uygulanması
- 7-) Bakım prosedürlerinin standartlaştırılması
- 8-) Bakım sürecinin iyileştirilmesi

Seow ve Liu (2006)'nın ekipman ömrünü uzatacak etkin yaklaşımlara sahip bakım stratejilerini araştırdığı çalışmasında, TPM ile Altı Sigma'nın birbirlerinin eksikliklerini tamamlar nitelikte olduğu vurgulanmış ve bu iki strateji bir işletmede birlikte uygulanmıştır. Böylece Altı Sigma yaklaşımı bakım stratejilerine adapte edilmiştir. Bu adaptasyonda Altı Sigma DMAIC döngüsü ile TPM uygulamasının birbirini desteklediği yapı tablo 30'da verilmiştir.

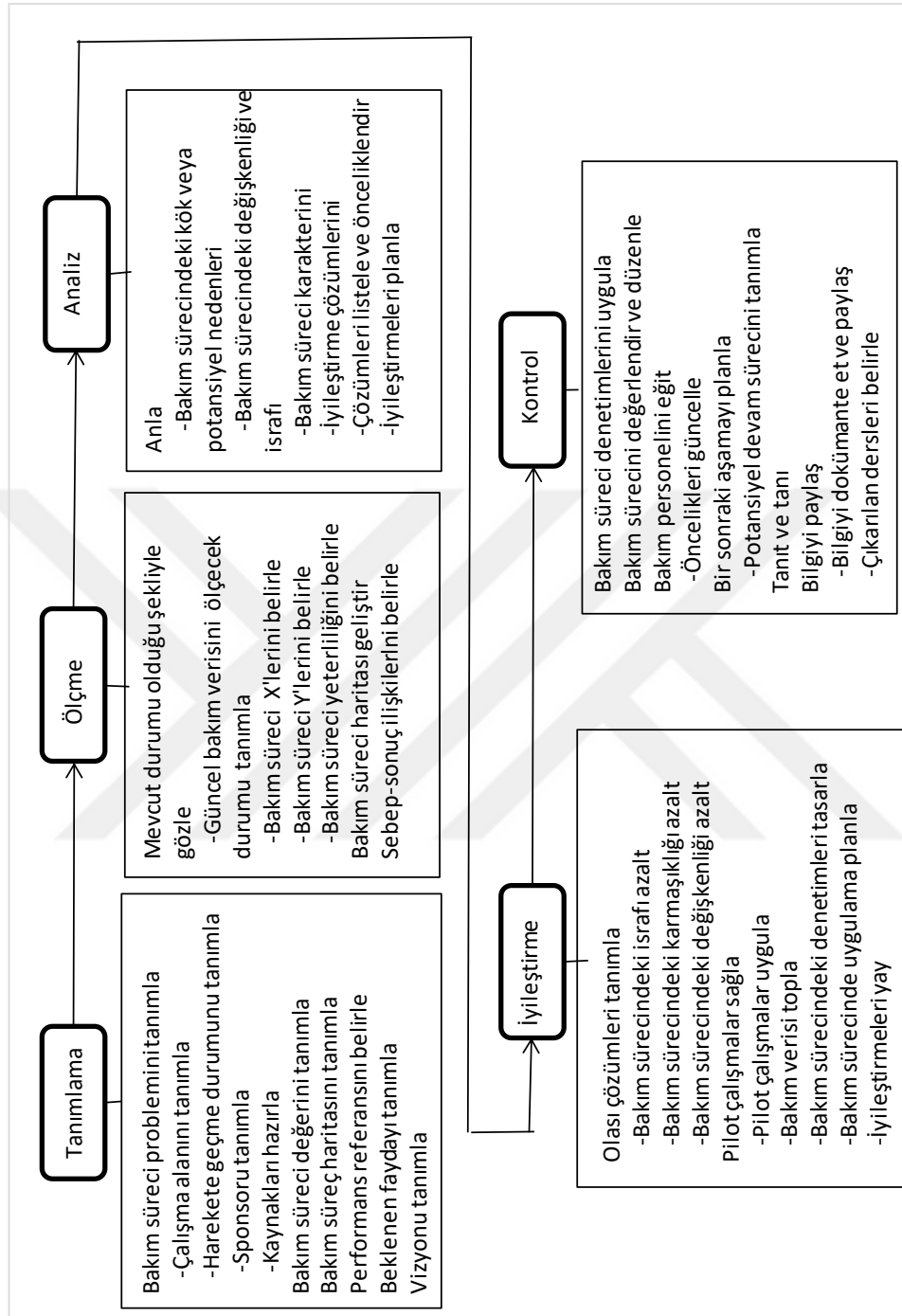
Tablo 30: Altı Sigma ve TPM'in Birbirini Destekleme Yapısı

Altı Sigma	Tanımlama	Ölçme	Analiz	İyileştirme	Kontrol
TPM	Ekipman performansının tanımlanması	Ekipman performansının ölçülmesi	Kayıpların analizi	Kayıpların iyileştirilmesi	Kontrol için bakım programının geliştirilmesi

Kaynak: Seow ve Liu, 2006: 796.

Al-Mishari ve Suliman (2008), mevcut güvenilirlik iyileştirme yöntemlerinin zayıf yönlerini ortadan kaldırmak üzere, bu yöntemleri Altı Sigma DMAIC döngüsüyle bütünleştirmiştir. Bakım programlarını geliştirmek üzere mevcut durumda kullanılan, güvenilirlik merkezli bakım (RCM), riske dayalı araştırma (RBI), TPM ve periyodik bakım optimizasyonu (PMO) gibi yöntemler Altı Sigma DMAIC döngüsü adımları içinde birleştirilmiştir. Bu anlamda, Thomas ve diğerleri (2008) tarafından önerilen SSM yaklaşımı ile oldukça benzerlik göstermektedir. Her iki çalışmada da Altı Sigma yönteminin DMAIC döngüsü, bakım yönetimi unsurlarıyla harmanlanarak yeniden tasarlanmıştır.

Şekil 31: Bakım Süreçleri için DMAIC Modeli



Kaynak: Wang ve diğerleri, 2012: 1394.

SSM yaklaşımı (Thomas ve diğerleri, 2008) tanıtıldıktan sonra gerçekleştirilen Wang ve diğerleri (2012)'nin çalışmasında, SSM yaklaşımına benzer olarak, Altı Sigma DMAIC modeli bakım süreçlerine adapte edilmiştir. Bu amaçla, bakım süreçlerine uygun olacak şekilde DMAIC adımları yeniden oluşturulmuştur.

Çalışmada bakım süreçleri için oluşturulan DMAIC modeli açıklamalarıyla şekil 30'da verilmiştir.

Tablo 31: TPM Aşamaları ve DMAIC Süreci

Aşama 1 Hazırlık	Tanımlama	-Müşterilerin ihtiyaçlarını ve beklentilerini tanımla. Hangi süreç ya da ürünün iyileştirmeye ihtiyacı olduğunu belirle -İyileştirilecek sürecin SIPOC modelini oluştur -İlk aşamada yönetim tarafından bakım performansı ve Altı Sigma'ya bir ilgi oluşturulur. Bu ilgi ana planın oluşturulmasını, eğitim için organizasyonu, eğitim kampanyalarını, konferansları ve gözlem çalışmalarını içerir. -Ekipman performans ölçütlerini belirle (MTTR, MTBF gibi)
Aşama 2 Başlama		-TPM'i başlat -Dış müşterileri, tedarikçileri ve bağlı şirketleri davet et
Aşama 3 Uygulama	Ölçme ve analiz	-Kayıpları ve kusurları ölç -Sekiz büyük kayba karşı mücadele et -Veri topla ve istatistiksel analiz yap -Kayıpları ve kusurları analiz et ve iyileştirilmesi gereken hususları bul
Aşama 4 İstikrar (Düzen)	İyileştirme ve kontrol	-İlk yıl yapılan uygulama aşaması, iyileştirme çalışmalarının sonuçlarını değerlendirmek için deneme aşamasıdır -İyileştirme takımlarının yetersiz eğitimi, kritik rollerin ciddi olarak dağıtılmaması, kaynak kıtlığı ve kalite veya üretim müdürlerinin yetersizliği TPM veya Altı Sigma'nın başarısızlıkla sonuçlanmasının en kritik nedenleridir. -Değişkenliği azaltmak için süreci iyileştir. En etkin çözümü tasarla ve uygula. -Müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için süreç değişkenliğini kontrol et. Kontrol şemaları kullan ve uygulamanın başarısını analiz et. -Bakım programı geliştir ve kontrol et.

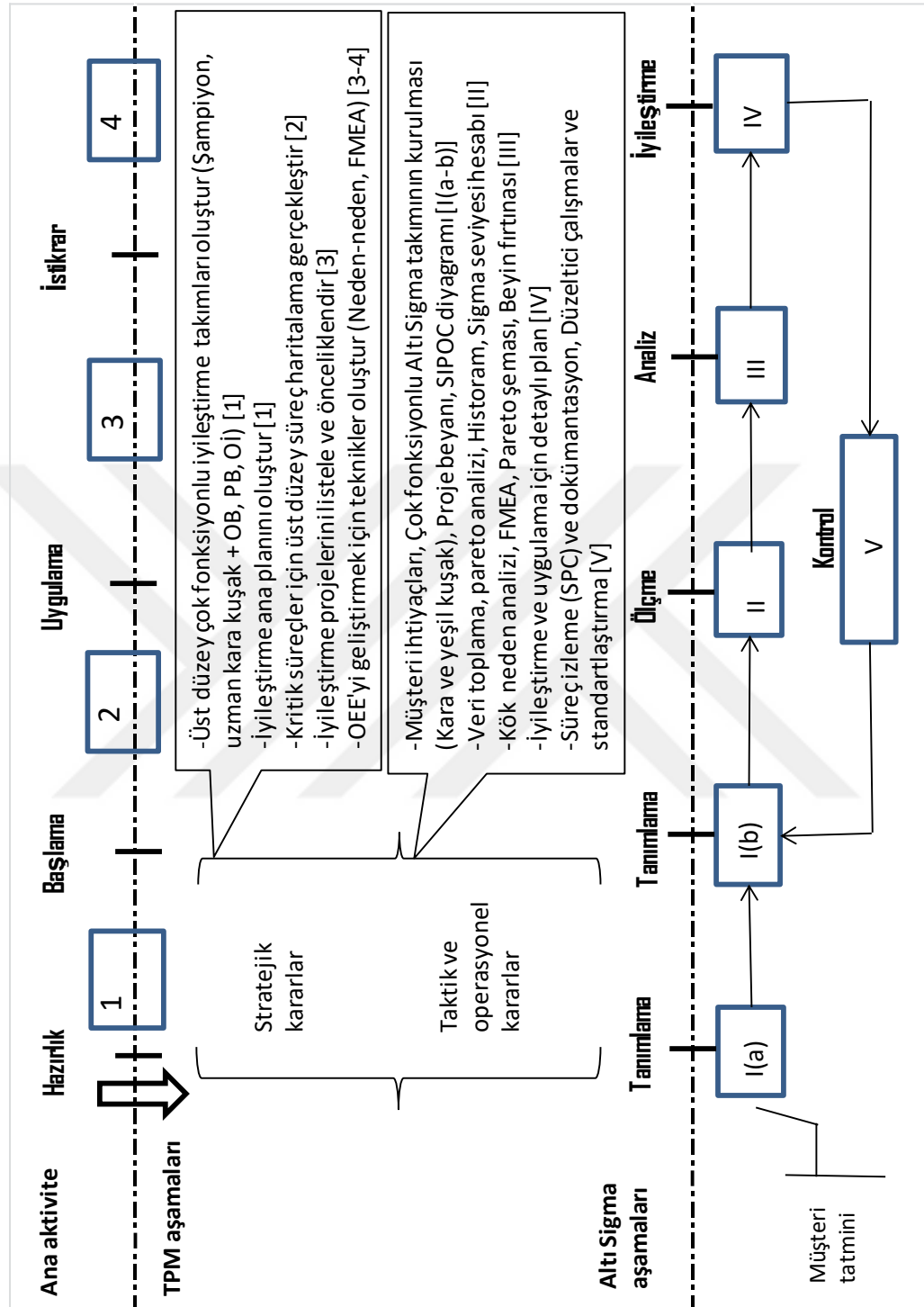
Kaynak: Sharma ve Sharma, 2014: 748.

Sharma ve Sharma (2014)'nın TPM ve Altı Sigma'nın beraber uygulandığı çalışmasında, her iki stratejinin yaratacağı sinerji ile şirket performansının

arttırılması hedeflenmiştir. TPM uygulaması; hazırlık, başlama, uygulama ve istikrar (düzen) olmak üzere 4 aşamadan geçerken, Altı Sigma, iyi yapılandırılmış bir yöntem olarak kabul edilen DMAIC döngüsüne sahiptir (Sharma ve Sharma, 2014: 747). Çalışmada, TPM aşamaları ve DMAIC süreci tablo 31’de verildiği şekilde bütünleştirilmiştir.



Şekil 32: TPM ve Altı Sigma Bütünleşik Yapısı



Kaynak: Sharma ve Sharma, 2014: 749.

Sharma ve Sharma (2014)'nın çalışmasında, TPM uygulama aşamalarını ve Altı Sigma DMAIC döngüsünü içeren bir uygulama modeli önerilmiştir. Bu modelde, ana aktiviteler TPM çatısı altında yürütülmektedir ve stratejik kararlar

burada verilmektedir. Eş zamanlı yürütülen Altı Sigma aşamalarında ise müşteri tatminine odaklanılıp, taktik ve operasyonel kararlar alınmıştır. Sharma ve Sharma (2014: 749) tarafından önerilen yapı şekil 31’de verilmiştir.

Sharma ve Sharma (2014) çalışmalarında, tablo 31 ve şekil 31’de görülen bütünleşik yapının alt başlıklarında, SSM kavramına uygun bir model ortaya koymuştur. Önerilen bütünleşik sistem, taktik ve operasyonel kararların verildiği DMAIC döngüsü içinde TPM’in bakım uygulama tekniklerini barındırmaktadır. Bu anlamda, Sharma ve Sharma (2014)’nın önerdiği modelin içeriğinde, adı geçmese de SSM yaklaşımının kullanıldığını söyleyebiliriz.

Modelin stratejik kararlar kısmında, Şampiyon için belirlenen ana sorumluluklar aşağıda sıralanmıştır (Sharma ve Sharma, 2014: 748):

- Tüm bölümlerden üyesi olan kök neden analiz ekibi kurmak ve liderlik etmek.

- İyileştirmeler için ana planı hazırlamak. Tekrar eden arızaları, bakım maliyetini ve iyileştirme çalışmalarını araştırmak.

- Kritik süreçler için üst düzey süreç haritalama yapmak ve SIPOC modelini kurmak. İyileştirme projelerini listelemek ve önceliklendirmek.

- Bakım bütçelerine, özellikle kestirimci ve planlı bakım bütçelerine girdi sağlamak.

Taktik ve operasyonel kararlar kısmında, yerine getirilmesi gereken ana görevler aşağıda verilmiştir (Sharma ve Sharma, 2014: 749):

- Müşteri ihtiyaçlarını tanımlamak ve kara kuşak, yeşil kuşak ve takım üyelerinden oluşan iyileştirme takımlarının yapısını belirlemek.

- İyileştirme projelerinin uygulanması.

- Üretim ve bakımın periyodik raporlarını derleyip istatistiksel analiz yapmak

- Süreci izlemek (SPC), düzeltici aksiyonları planlamak ve uygun doküman aracılığı ile standartlaştırmak ve iyileştirme projelerini gözden geçirmek.

3.2 ALTI SİGMA BAKIM MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

Yukarıdaki bölümde verilen SSM literatürü esas alınarak, sadece bakım bölümlerini kapsayacak şekilde yeni bir model geliştirilmiştir. Sharma ve Sharma (2014)'nın önerdiği TPM-Altı Sigma bütünleşik modelinden uyarlanarak geliştirilen SSM modeli şekil 32'de verilmiştir.

TPM'in planlı bakım komitesinin uygulamaları ile Altı Sigma bütünleştirilerek oluşturulan yeni modelde, ana aktivite planlı bakım stratejisinin belirlenmesini içermektedir ve bu aktiviteyi planlı bakım aşamaları oluşturmaktadır. Planlı bakım politikasının belirlendiği ana aktivitede, aynı zamanda bakım bölümü için stratejik kararlar verilmektedir. Ana aktivitenin aşamaları, JIPM'in tecrübeleriyle belirlediği 10 sütun olarak alınmıştır (JMAC, 2014: 120).

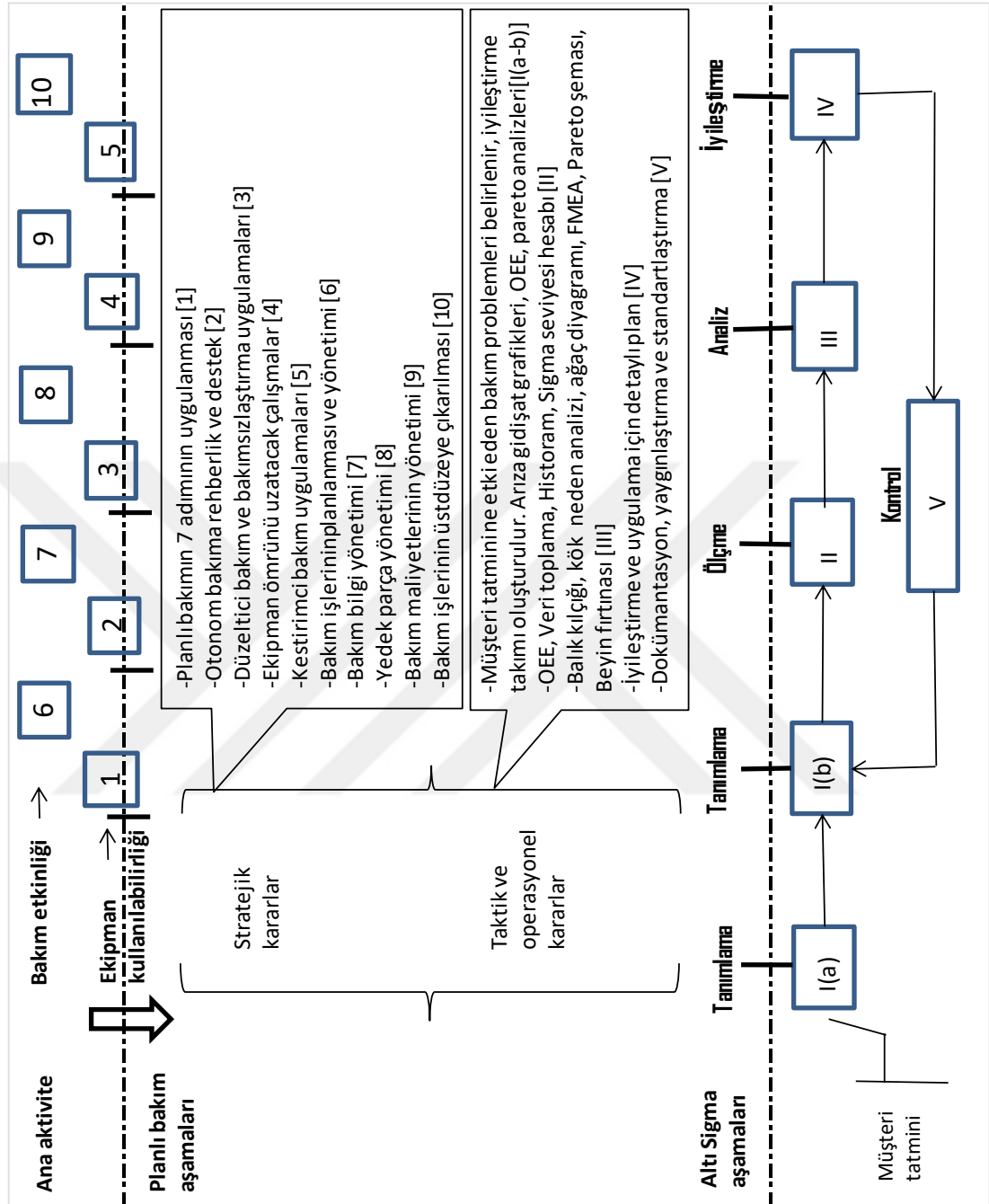
Önerilen modelin stratejik kısmında, bakım yöneticisinin temel sorumlulukları aşağıda verilmiştir (Sharma ve Sharma, 2014: 748; JMAC, 2014: 120):

- Planlı bakım için ana bakım planını oluşturmak ve uygulamak
- Planlı bakım organizasyonu içinde iyileştirme takımları kurmak
- İyileştirme ana planını hazırlamak. Tekrar eden arızaları, bakım maliyetini ve düzeltici bakım çalışmalarını araştırmak

- Bakım etkinliğini ve ekipman kullanılabilirliğini arttırmak üzere JIPM'in 10 sütunlu uygulama politikasına uygun olarak her bir aşamada belirtilen çalışmaları yerine getirmek

Altı Sigma aşamalarının ana aktiviteye paralel olarak yürütüldüğü şekil 32'in alt kısmında taktik ve operasyonel kararlar verilmektedir. Bakım yönetimi açısından müşteri tatmini denilince, zamanında teslimat ve ilk seferde doğru üretim akla gelmektedir (Thomas ve diğerleri, 2008: 264). Bu nedenle, SSM uygulamasında müşteri tatmini için bakım etkinliği en üst seviyeye çıkarılarak ekipman kullanılabilirliği arttırılmalıdır. Model, Altı Sigma DMAIC döngüsü içerisine TPM'in bakım uygulama araçları entegre edilerek, ekipman kullanılabilirliğinin arttırılmasında kullanılmaktadır.

Şekil 33: Planlı Bakım Uygulamaları ve Altı Sigma Bütünleşik Modeli (SSM Modeli)



Kaynak: Sharma ve Sharma, 2014: 749.

Modelin taktik kararlar kısmındaki tanımlama aşamasında, müşteri tatminine etki eden bakım problemleri ortaya konulur. Bakım yönetiminde, bu problemler çoğu zaman ekipmanın kullanılabilirliğini etkileyen problemlerdir. Problemin belirlenmesinde, arıza gidişat grafiklerinden, OEE grafiklerinden ve pareto analizlerinden yararlanılır ve problemin çözümü için bir takım oluşturulur. Ölçme

aşamasında, problemi yaratan mevcut durum analiz edilerek tespit edilir. Ölçme aşamasında, sigma hesaplamalarından ve veri toplama tekniklerinden faydalanılır. Analiz aşamasında, mevcut durumu tespit edilen problem, kök neden analizi, beyin fırtınası, balık kılçığı diyagramı, ağaç diyagramı, FMEA vb. tekniklerle detaylı incelenir. İyileştirme aşaması, analiz aşamasında elde edilen sonuçların iyileştirilmesi için yapılacak çalışmaların planlanmasını ve uygulanmasını içerir. Genellikle düzeltici bakım yapılacak noktalar ile planlı bakım uygulanacak noktalar için aksiyonlar alınır. Kontrol aşamasında ise yapılan çalışmalar doğrulanmak üzere izlenir.

Geliştirilen modelin taktik kısmındaki temel sorumluluklar aşağıda verilmiştir (Sharma ve Sharma, 2014: 748; JMAC, 2014: 120):

- Müşteri ihtiyaçlarını tanımlamak ve kara kuşak, yeşil kuşak ve takım üyelerinden oluşan iyileştirme takımlarının yapısını belirlemek
- İyileştirme projelerinin uygulanması
- Bakım bölümü periyodik raporlarını derleyip istatistiksel analiz yapmak
- JIPM'in 10 sütunlu uygulama politikasına uygun olarak, bakım etkinliğini ve ekipman kullanılabilirliğini arttırmak üzere yapılacak olan çalışmalara iyileştirme projeleri üreterek destek vermek
- Yapılan iyileştirme çalışmalarının sonuçlarını takip etmek ve standartlaştırmak

3.2.1. Altı Sigma Bakım Performansının Belirlenmesi

Geliştirilen model ile bir işletmede uygulanacak olan SSM sisteminin performansını ölçmek üzere, öncelikle mevcut SSM çalışmalarında performans ölçümünün nasıl yapıldığı incelenecektir.

3.2.1.1 Mevcut SSM Performans Ölçümleri

Thomas ve diğerleri (2008)'in SSM kavramını ortaya attığı çalışmada, performans ölçümü yapılmamıştır. Önceki bölümde SSM kavramı ile ilişkili olarak verilen Inozu ve Radovic (2002)'in çalışmalarında, uyguladıkları sistemin performansı, sigma seviyesi belirlenerek ölçülmüştür. Sigma seviyesinin

belirlenebilmesi için kusur tanımı, “sistemin ya da ekipmanın kullanılamaz olması” ve fırsat tanımı, “kullanılabilecek toplam süre” olarak yapılmıştır. Arıza süresinin toplam kullanılabilir süreye oranından DPMO hesaplanmış ve sigma seviyesi belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan DPMO hesaplaması aşağıdaki formülde verilmiştir (Inozu ve Radovic, 2002: 14).

$$DPMO = \frac{\text{Arıza süresi}}{\text{Toplam kullanılabilir süre}} \times 1.000.000 \dots \dots \dots (3.1)$$

Performans ölçümü yapılan başka bir SSM çalışması olan Holtz ve Campbell (2003)’ın vaka analizinde, kusur tanımı “arıza bakım için harcanan süre” olarak yapılmış ve fırsat ise “tüm bakım çalışmaları için harcanan süre” olarak belirlenmiştir. Sigma seviyesini belirlemek üzere DPMO sayısı, arıza süresinin toplam bakım süresine oranı alınarak hesaplanmıştır. Çalışmada, aşağıda verilen DPMO hesaplaması ile bakım sisteminin sigma seviyesi belirlenmiştir (Holtz ve Campbell, 2003: 325).

$$DPMO = \frac{\text{Arıza süresi}}{\text{Toplam bakım süresi}} \times 1.000.000 \dots \dots \dots (3.2)$$

Ford şirketinde iklimlendirme odalarındaki arızaları azaltmayı amaçlayan Holtz ve Campbell (2003)’ın çalışmasında, 1,45 olan sigma seviyesi arızalar azaltılarak 2,5’e çıkarılmıştır. Altı Sigma ve bakımın birleştirildiği SSM sistemiyle şirketin iyileşmesi hızlanmıştır.

Bartz ve Siluk (2011)’un çalışması Altı Sigma ve bakım uygulamalarının bütünleştirildiği bir çalışma olmasa da, çalışmada kullanılan performans göstergelerinin, SSM çalışmalarının performans göstergelerine benzerliği sebebiyle incelemeye alınmıştır. Bir metal işleri fabrikasında gerçekleştirilen çalışmada, bakım performansını daha iyi değerlendirmek üzere yeni göstergeler önerilmiştir. Bu göstergelerden biri, arıza bakım ile planlı bakım oranıdır. Diğer, arıza bakım ve planlı bakım sürelerinin ayrı ayrı toplam üretim süresine oranıdır. Önerilen göstergeler aşağıda verilmiştir (Bartz ve Siluk, 2011: 83).

$$\frac{\text{Arıza bakım süresi}}{\text{Planlı bakım süresi}} \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\frac{\text{Arıza bakım süresi}}{\text{Toplam üretim süresi}}', \quad \frac{\text{Planlı bakım süresi}}{\text{Toplam üretim süresi}} \dots \dots \dots (3.4)$$

Bartz ve Siluk (2011)'un çalışmasında önerilen göstergeler, diğer SSM çalışmalarında benzerleri kullanılan ve/veya kullanılabilecek göstergelerdir. Çalışma sonunda, bakım yönetimine eklenen planlı metodoloji aracılığı ile arttırılan bakım performansı, belirtilen göstergeler ile ölçülmüştür.

3.2.1.2 SSM Sistemler için Performans Göstergesi Geliştirilmesi

SSM sistemleri için kullanılan performans göstergeleri, performans ölçümünü ve karşılaştırılmasını sağlamakta ancak SSM bütünlük sisteminin performansa olan etkisini tam olarak gösterememektedir. Örneğin, bir işletmede SSM bütünlük sisteminin kullanıldığını ve bir önceki yıl ile içinde bulunulan yıl arasında bakım performansında artış olduğunu varsayalım. Böyle bir durumda, bakım performansındaki artışın sadece bakım yönetimi uygulamalarıyla (planlı bakım vs.) gerçekleştiği iddia edilebilir. Dolayısıyla, bakım yönetimine Altı Sigma felsefesinin entegre edilmesinin de faydası olmadığı iddia edilebilir. Bu nedenlerle, SSM sistemleri için kullanılan mevcut performans ölçüm göstergelerinin yetersiz olduğu düşünülmektedir. Bakım yönetimine Altı Sigma felsefesini entegre etmenin SSM sistemleri için gerçekte faydalı olup olmadığını belirlemek üzere yeni bir performans göstergesi geliştirilmesinin bu konuya katkı sağlayabileceği düşünülmüştür.

Geliştirilen gösterge oluşturulurken öncelikle OEE kavramından hareket edilerek, SSM bütünlük sisteminin bakım performansını nasıl arttırabileceği açıklanacaktır. Geliştirilen göstergenin ana yapısı şekil 33'de verilmiştir. OEE yapısının ana unsurları şekilde gösterilmiştir. Burada, bakım yönetimiyle ilgili olan planlı bakım ve iyileştirme süresi (Y) ve arıza bakım süresi (X) ile ilgilenilecektir. OEE kavramındaki kapatma kaybının bir unsuru olan Y, bakım performansı açısından makinanın çalışmadığı zamanlardaki bakım etkinliğini ölçmek için kullanılacaktır. OEE kavramındaki kullanılabilirlik kaybının bir unsur olan X ise

makinanın çalışır durumda olduğu anlardaki bakım etkinliğini ölçmek için kullanılacaktır. Şekli özetlersek; planlı bakım uygulamalarıyla Y arttırılırsa, dolaylı olarak arızalar (X) azalacak; Altı Sigma yaklaşımı ile problemli noktalara yapılan iyileştirme çalışmaları arttırılırsa, dolaylı olarak arıza süresi (X) azalacaktır. Dolayısıyla bakım performansın artışı, kullanılabilirlik kaybının azalmasıyla sonuçlanacak ve OEE değeri arttırılarak işletmenin karlılığına katkı sağlanacaktır.

Şekil 34: Geliştirilen Performans Göstergesi Ana Yapısı

TOPLAM KULLANILABİLİR SÜRE (8 SAAT) A				
TOPLAM ÇALIŞMA SÜRESİ (6,5 SAAT) B			KAPATMA KAYBI (1,5 SAAT) C	
DEĞER KATAN SÜRE (3,5 SAAT) D	KALİTE KAYBI (0,5 SAAT) E	PERFORMANS KAYBI (1 SAAT) F	KULLANILABİLİRLİK KAYBI (1,5 SAAT) G	
C KAPATMA KAYBI		Elektrik kesilmesi	Basınçlı hava kesilmesi	Hammaddenin fabrikaya gelmemiş olması
G KULLANILABİLİRLİK KAYBI		Setup	Başlama kaybı	Süreç öncesi temizlik
		Planlı bakım ve iyileştirme süresi 1 saat (Y)		
		Arıza bakım süresi 0,5 saat (X)		

SSM sisteminin performansının ölçümü için iki indeksli bir yapı önerilmiştir ve her iki indeks için sigma seviyesi belirlenmiştir. Birinci indeks, TPM yönetimindeki planlı bakım uygulamaları ile Altı Sigma yönetimindeki iyileştirme çalışmaları neticesinde arızaların azaltılmasının, performansa etkisini ölçecektir. Bu bağlamda, kullanacağımız ilk indeks, arıza bakım süresinin (X), toplam çalışma süresine (B) oranı olacaktır. Bu orandan DPMO sayısı hesaplanacak ve DPMO sayısı ile sigma seviyesi belirlenecektir. Birinci indeksin formülü (3.5) ile verilmiştir.

$$DPMO_1 = \frac{\text{Arıza bakım süresi (X)}}{\text{Toplam çalışma süresi (B)}} \times 1.000.000$$

$$\Rightarrow \text{Sigma seviyesi } (\sigma_1) \dots \dots \dots (3.5)$$

İkinci indeks, şekil 34’de görüldüğü gibi arıza bakımın (X) toplam bakım faaliyetleri içindeki payını göstermektedir. Bu indeks de birinci indekse benzer

şekilde, SSM sistemi içindeki faaliyetlerin performansa etkisini farklı bir bakış ile ölçmektedir. İkinci indeksin formülasyonu, arıza bakım süresinin (X) toplam bakım faaliyetleri süresine (X+Y) oranıdır. İkinci indeksin formülü (3.6) ile verilmiştir.

$$DPMO_2 = \frac{\text{Arıza bakım süresi (X)}}{\text{Toplam bakım süresi (X + Y)}} \times 1.000.000$$

$$\Rightarrow \text{Sigma seviyesi } (\sigma_2) \dots \dots \dots (3.6)$$

İkinci indekste, hem Y'nin arttırılması hem de X'in azaltılması ile iyileşme sağlanmaktadır. Ancak bu göstergenin amacı, bir SSM sisteminde, planlı bakım ve iyileştirme faaliyetlerinin (Y) bir sonucu olarak arızaların (X) azaltılması ve performansın iyileştirilmesidir. Bu nedenle başarılı bir SSM sisteminde, formül (3.6)'daki kesir ifadesi hem Y'nin artmasıyla hem de X'in azalmasıyla gelişim göstermektedir.

Şekil 35: İkinci İndeks Şeması

TOPLAM BAKIM SÜRESİ (1,5 SAAT)	
ARIZA BAKIM SÜRESİ (0,5 SAAT) (X)	PLANLI BAKIM VE İYİLEŞTİRME SÜRESİ (1 SAAT) (Y)

Yukarıda açıklanan iki indeks beraber kullanılarak, SSM uygulanan bir işletmedeki bakım performansını ölçecek bir gösterge geliştirilmiştir. Yukarıda formül (3.5) ve (3.6)'da açıklanan sigma seviyeleri (σ_1 , σ_2), sadece planlı bakım uygulamaları veya sadece Altı Sigma uygulamaları neticesinde artış gösterecektir. Ancak, başarılı bir SSM sisteminde, uygulanan planlı bakım ve iyileştirme çalışmaları sonucunda arızalar azalacağı için σ_2 değeri, kesir ifadesinin yapısı gereği Y'nin artışından ve buna bağlı X'in azalmasından çift yönü olarak olumlu etkilenecektir. Bunun sonucu olarak, σ_2 'deki artış, σ_1 'deki artıştan daha fazla olmak durumundadır. Bu önermeden hareketle, başarılı bir SSM sisteminde σ_1 artarsa, σ_2 'nin aynı doğrultuda daha fazla artacağı söylenebilir. Buradan SSM bütünleşik sisteminin etkinliğinin göstergesi olarak, σ_1 değerinin artıyor olması ve σ_2

değerindeki artışın ise σ_1 değerindeki artıştan daha fazla olması şartlarının kullanılabileceğini söyleyebiliriz.

Önerilen performans göstergesi matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir: σ_1 düzeyinin herhangi bir t anı ile $(t-1)$ anındaki değerlerinin farkı 0'dan büyük olmalıdır (Denklem 3.7). σ_2 düzeyinin herhangi bir t anı ile $(t-1)$ anındaki değerlerinin farkı ile σ_1 düzeyinin herhangi bir t anı ile $(t-1)$ anındaki değerlerinin farkının oranı 1'den büyük olmalıdır (Denklem 3.8).

$$\Delta\sigma_1 > 0 \rightarrow \sigma_1(t) - \sigma_1(t-1) > 0 \dots\dots\dots 3.7$$

$$\frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} > 1 \rightarrow \frac{\sigma_2(t) - \sigma_2(t-1)}{\sigma_1(t) - \sigma_1(t-1)} > 1 \dots\dots\dots 3.8$$

Denklem 3.7, geliştirilen göstergenin tamamlayıcı ön şartıdır. Denklem 3.8'i değerlendirmenden önce denklem 3.7'de belirtilen σ_1 değerinde, önceki durum ile şimdiki durum arasında pozitif bir farkın olduğu görmemiz gerekmektedir. Bu pozitif fark, bir takım çalışmaların yapıldığını ve bir fayda sağlandığını gösterecektir. Denklem 3.8 ise SSM bütünleşik sisteminin esas performans indeksidir. Bu denklem ile σ_2 seviyesindeki artışın σ_1 seviyesindeki artıştan daha büyük olup olmadığını görüyoruz. σ_1 ya da σ_2 seviyelerinin arttırılması herhangi bir bakım çalışmasıyla sağlanabilir. Ancak σ_2 'nin σ_1 'e oranla daha fazla artış göstermesi, bir SSM sistemi için sadece planlı bakım ve iyileştirme (Y) çalışmaları sonucunda elde edilen arıza (X) azaltımı ile sağlanabilir. Böylece bir işletmede, SSM sisteminin uygulanıyor olmasından, gerçekten bir fayda sağlanıp sağlanmadığı belirlenebilir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ALTI SİGMA VE BAKIM UYGULAMALARININ

BÜTÜNLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK

UYGULAMA

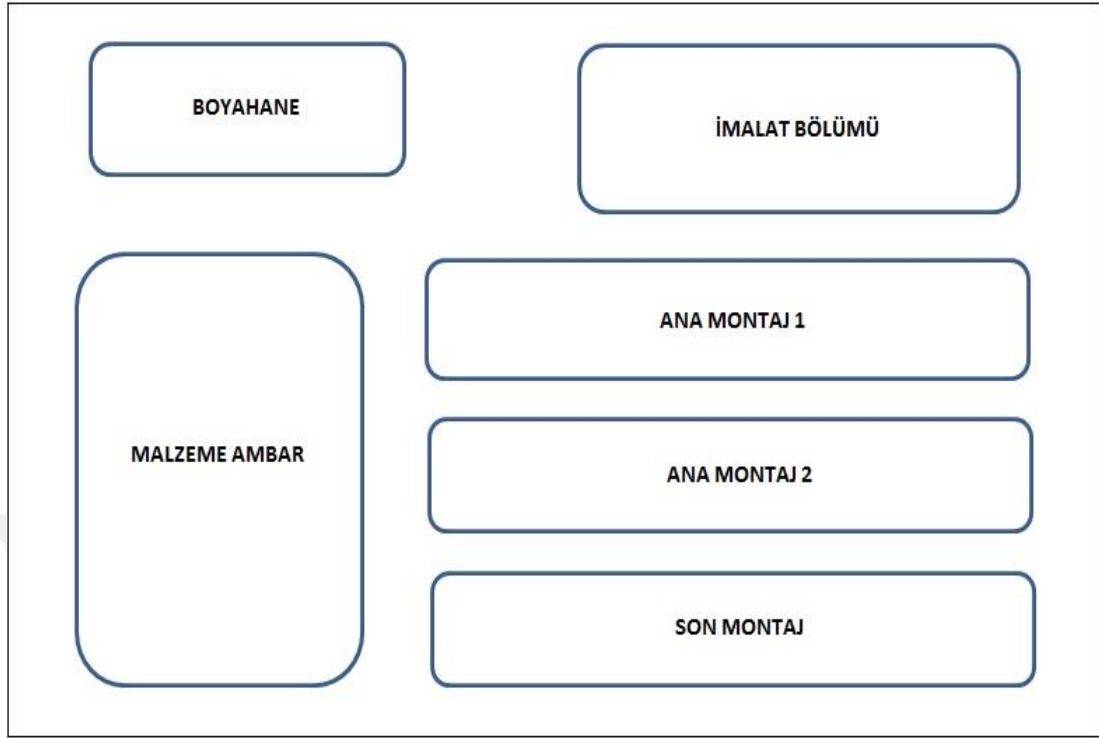
Bakım yönetimine adapte edilecek SSM modelinin performans seviyesi, uygulamanın yapıldığı sanayi kuruluşundaki bir üretim hattına odaklanılarak belirlenmiştir. Performans seviyesinin belirlenmesinde, üçüncü bölümde tanıtılan SSM sistemleri için geliştirilen performans göstergesinden yararlanılmıştır. Uygulama bölümünde, öncelikle firma tanıtımı yapılmış ardından model sunulmuş ve önerilen modelin devreye alınması ve modelin uygulanmasından sonra yapılan performans ölçümü açıklanmıştır.

4.1 FİRMANIN TANITILMASI

SSM modeli uygulaması Türkiye’de tüketici elektroniği sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede yapılmıştır. İşletme, faaliyetlerine 2003 yılında başlamıştır. Kurulduğu günden bugüne üretimini her yıl attırmayı başaran işletme günümüzde yıllık 2.000.000 adedin üzerine ürün üretmektedir. Bu artışa paralel olarak personel sayısı da kurulduğu günden bugüne artmış ve bugün yaklaşık 1.100 adet personele ulaşmıştır. İşletme üretiminin yaklaşık %80’ini ihraç eder konumdadır.

Fabrika üretim alanını nihai ürünü üretmek üzere 3 ana üretim bölümünden oluşmaktadır. İmalat bölümünde nihai ürünün gövdesini oluşturan metal saç şekillendirilmektedir. Boyahane bölümünde şekillendirilen saç parçalar istenilen renge boyanmaktadır. Son olarak montaj bantlarında ana gövde ile nihai ürünün diğer bileşenlerinin montajı yapılmakta ve paketlenerek müşteriye sevk edilmektedir. Fabrikanın kaba bir krokisi şekil 35’de verilmiştir.

Şekil 36: Fabrika Krokisi



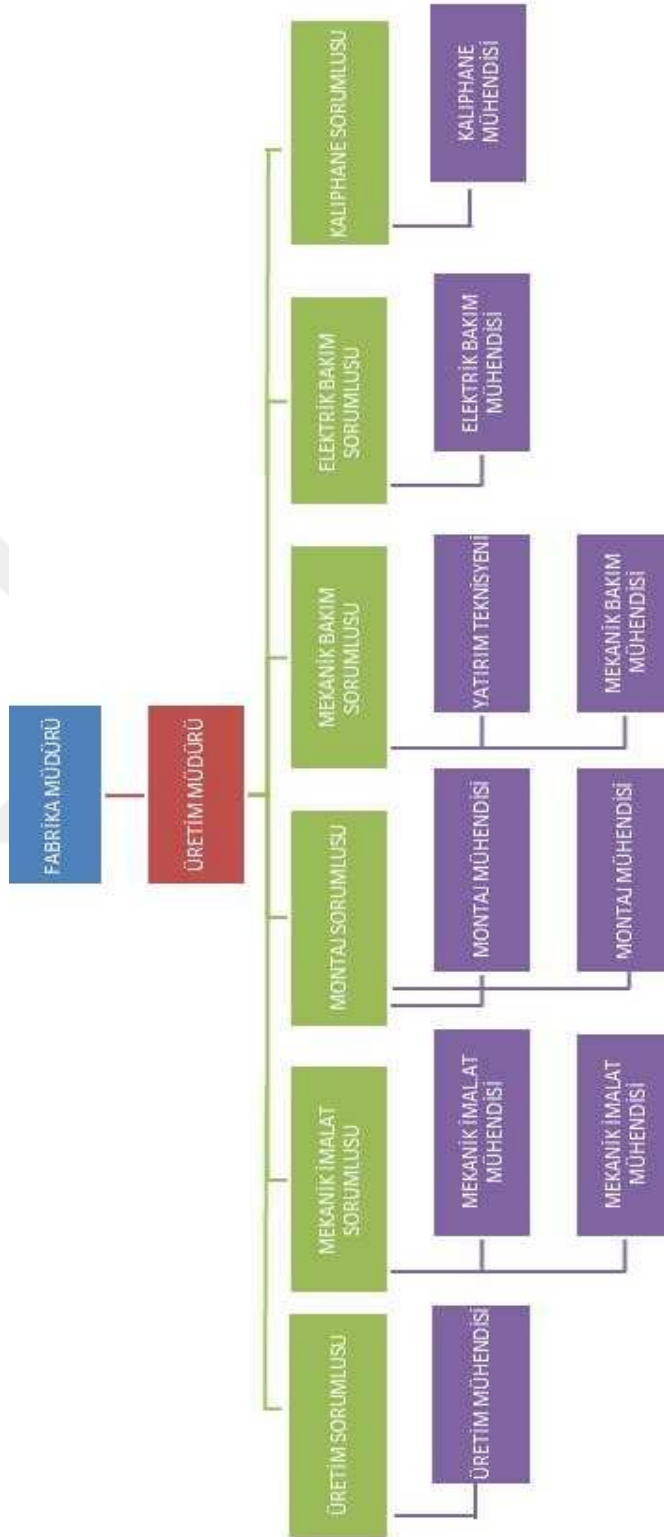
İşletmede 2011 yılı sonlarında TPM uygulama kararı alınarak uygulamaya başlanmıştır. 2014 yılı sonunda, TPM Mükemmel Fabrika Ödülü'nü almaya hak kazanmıştır. İşletmede şu an TPM'in Mükemmel Fabrika Süreklilik Ödülü'nü kazanmak üzere çalışmalar devam etmektedir. 2011 yılında, TPM çalışmalarının başladığı ilk andan itibaren örgüt kültüründe, organizasyon yapılarında ve görev tanımlarında bir takım değişiklikler gerçekleşmiştir. Firmanın bakım bölümü de bu değişikliklerden olumlu yönde etkilenecek TPM felsefesi ile mükemmel olmaya doğru yönelmiştir. Bakım bölümü faaliyetlerini TPM bakış açısıyla yöneten planlı bakım komitesi, vizyonunu sıfır kaza ve sıfır arıza, misyonu planlı bakım sistemini kurmak ve politikayı da JIPM'in belirlediği 10 uygulama sütununu hayata geçirmek olarak belirlemiştir.

İşletmede TPM faaliyetlerinin yürütülmesi için mevcut organizasyon şemasının dışında TPM organizasyonu için de bir şema oluşturulmuştur. Oluşturulan organizasyon şeması şekil 36'da verilmiştir. Şemada görüldüğü gibi fabrikadaki tüm bölümler mevcut görevlerinin yanında TPM organizasyonunda da görev almaktadır.

Şekil 37: TPM Organizasyon Şeması

TOPLAM ÜRETKEN BAKIM ALT KOMİTELERİ FABRİKA MÜDÜRÜ									
	Otonom Bakım	Odaklanmış iyileştirme	Planlı Bakım	Kalite Bakım	Eğitim	Erken Yönetim	Ofis TPM	SEÇ	5S
	Komite Başkanı	Komite Başkanı	Komite Başkanı	Komite Başkanı	Komite Başkanı	Komite Başkanı	Komite Başkanı	Komite Başkanı	Komite Başkanı
Fabrika Komite Başkanları									
MEKANİK İMALAT ALT KOMİTE ÜYELERİ	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi		Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi
MONTAJ ALT KOMİTE ÜYELERİ	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi		Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi
BOYAHANE ALT KOMİTE ÜYELERİ	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi		Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi		Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi
ÜRETİM OFİS ALT KOMİTE ÜYELERİ	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi					Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi
KALİTE BÖLÜMÜ ALT KOMİTE ÜYELERİ	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi			Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	
AR-GE BÖLÜMÜ ALT KOMİTE ÜYELERİ	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi		Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	
BAKIM BÖLÜMÜ ALT KOMİTE ÜYELERİ	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi	Alt Komite Üyesi

Şekil 38: Fabrika Organizasyon Şeması



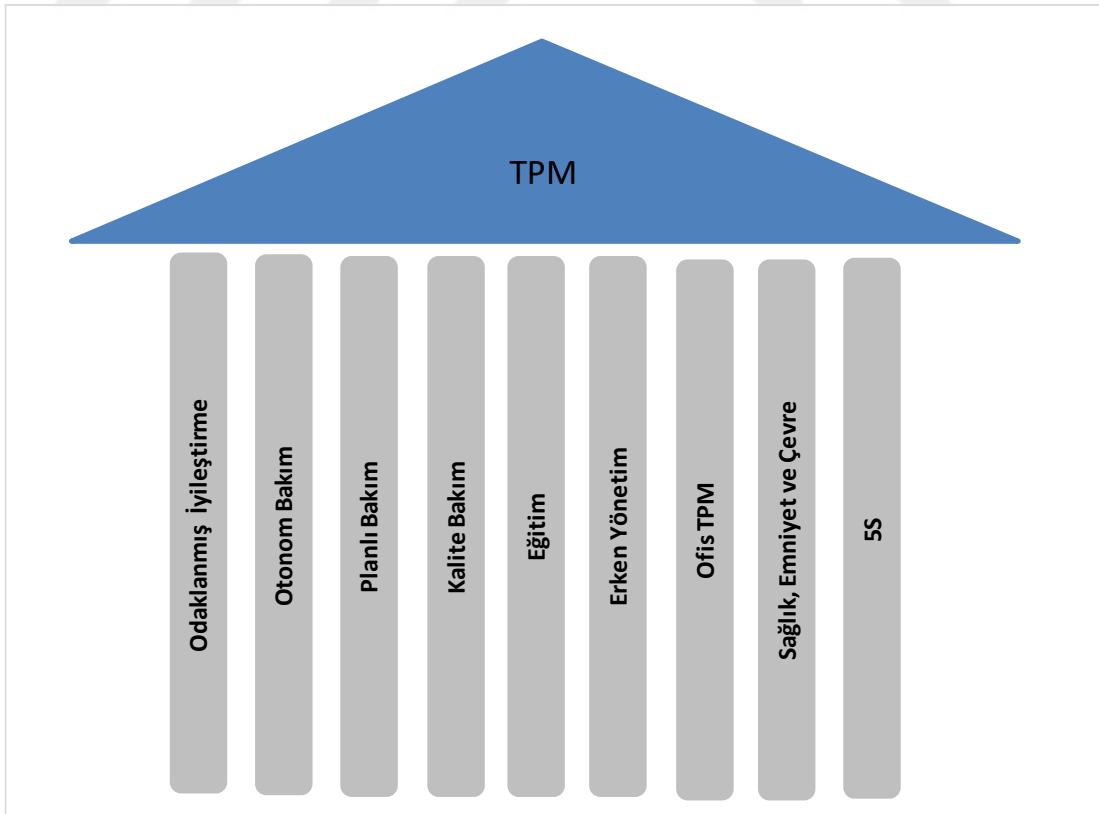
Fabrika müdürünün önderliğinde 9 adet TPM komitesinin (Otonom Bakım, Odaklanmış İyileştirme, Planlı Bakım, Kalite Bakım, Eğitim, Erken Yönetim, Ofis TPM, SEÇ ve 5S) başkanları ve komite üyeleri mevcut çalışanlar arasından belirlenmiş ve organize edilmiştir. Bu yapı sayesinde fabrikadaki tüm birimler ve bireyler TPM organizasyonunun içine dahil edilmiştir.

Fabrika organizasyon şeması ise Üretim Müdürlüğü baz alınarak şekil 37’de verilmiştir. Fabrika Müdürü’ne bağlı olan Üretim Müdürü altında 6 adet kısım sorumlusu bulunmakta ve sorumlulara bağlı olarak ise 9 adet mühendis bulunmaktadır.

4.1.1 Firmada Gerçekleştirilen TPM Uygulamaları

2011 yılında uygulanmaya başlanan TPM sistemi ile öncelikle firmada geniş çaplı bir temel TPM eğitimi verilmiştir. Daha sonra TPM sütunları tanımlanarak her biri için uygulamalara geçilmiştir. Firmada uygulanan TPM sütun yapısı şekil 38’de verilmiştir.

Şekil 39: Firmada Uygulanan TPM Sütun Yapısı



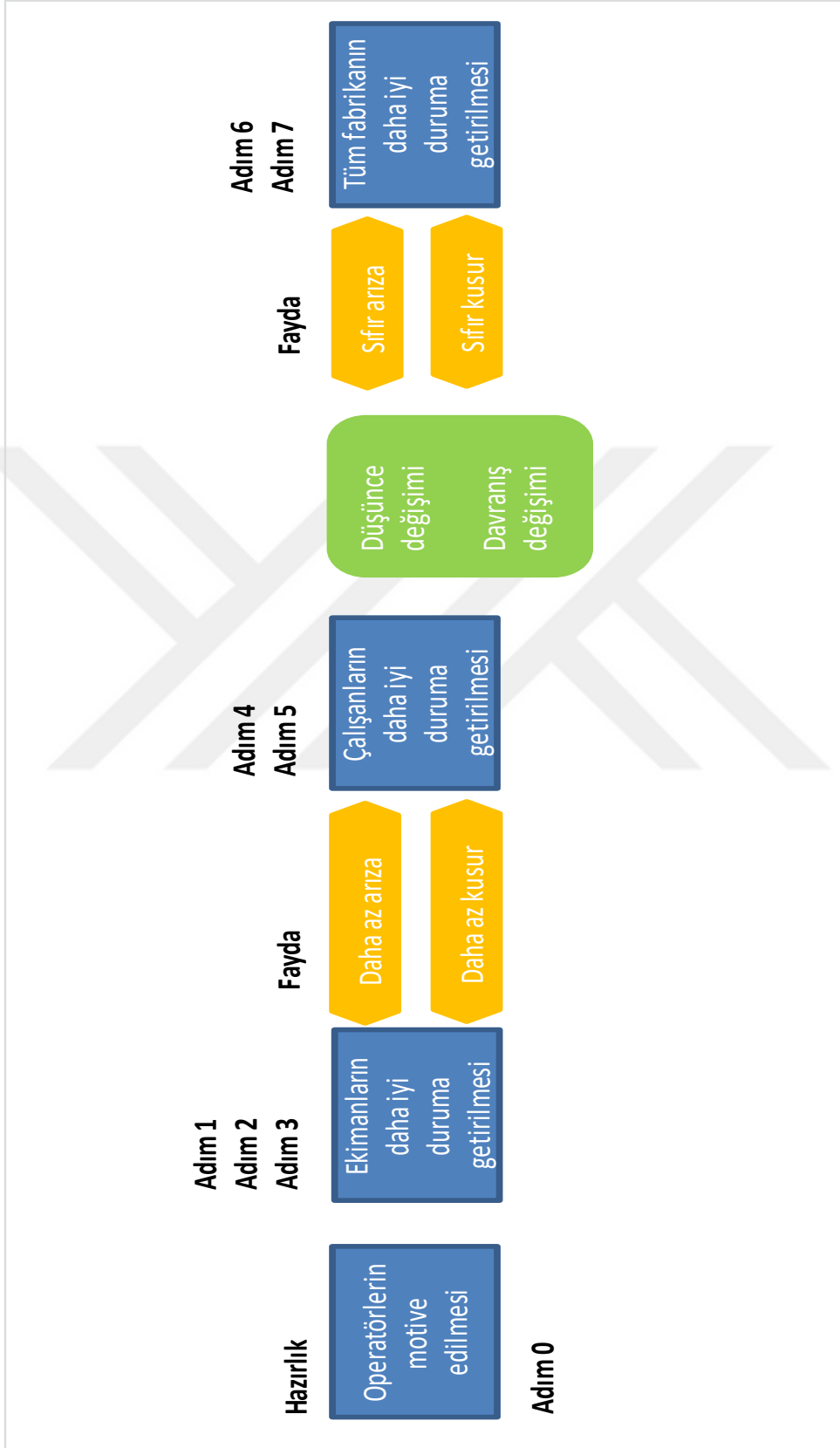
Tablo 32: Kayıp Maliyet Matrisi

No	Kayıp Türleri	Bakım												Hedef	Gerçekleşme
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Arıza	5.307 €	226.045 €	19.100 €	376 €	0 €	0 €	0 €	0 €	4.178 €	0 €	0 €	0 €	149.656 €	170%
2	Model Dönüşümü ve Setup	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
3	Başlama	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
4	Çokote-Küçük Duruşlar	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
5	Hız Kaybı	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
6	Makine kalite hataları	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
7	İkmal Doldurma	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
8	İşçilik Kaybı	0 €	0 €	108 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	88.033 €	0%
9	Taşıma-Fabrika içi	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
10	Taşıma-Fabrika dışı	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
11	Red-Telafi Kayıpları	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
12	Rework	0 €	0 €	1.117 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
13	Temizlik	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
14	Ürüne bağlı sarf maliyeti	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
15	Enerji	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	17.607 €	0%
16	Bölüm Giderleri	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	133 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
17	Teknolojik Fire	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
18	Hurda	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
19	Hammadde Stok Maliyeti	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
20	Yarmamul Stok Maliyeti	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
21	Mamul Stok Maliyeti	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0%
22	Bakım Yedek Parça Stok Maliyeti	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	44.016 €	0%
Toplam Fayda		5.307 €	231.352 €	251.677 €	252.054 €	252.054 €	252.054 €	252.054 €	252.054 €	256.365 €	256.365 €	256.365 €	256.365 €	256.365 €	84%
Hedef		24.943 €	49.885 €	74.828 €	99.770 €	124.713 €	149.656 €	174.598 €	199.541 €	224.483 €	249.426 €	274.368 €	299.311 €	299.311 €	24.943 €

Odaklanmış iyileştirme komitesinde, insan ve makine veriminin sürekli arttırılması amacıyla kayıp yapısı izlenerek kayıp maliyet matrisi hazırlanmıştır. Bu matris ile her bölümün kayıplarına göre iyileştirme (Kaizen) görevleri ve hedefleri belirlenmiştir. Bakım bölümü için hazırlanmış kayıp maliyet matrisi tablo 32’de verilmiştir.

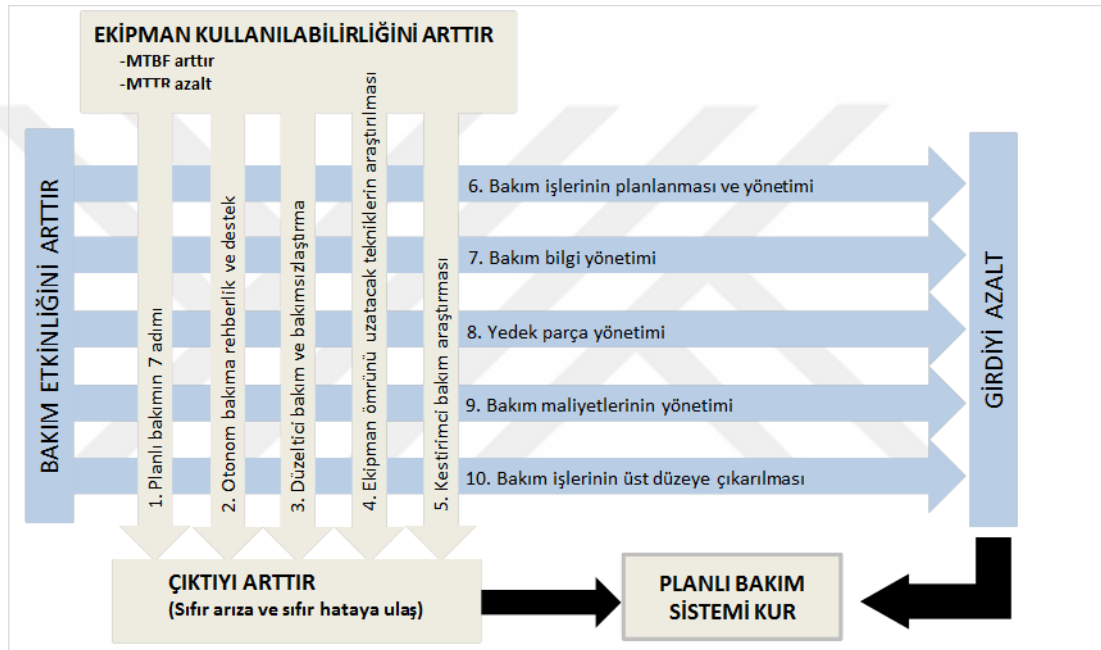
Otonom bakım komitesinde, operatörlerin kullandıkları makinaları iyi tanımaları ve “benim makinam” prensibinin benimsetilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla otonom bakımın 7 adımı sırasıyla tüm makinalarda uygulanmaya başlanmıştır. İşletmede kullanılan otonom bakım adım sistemi şekil 39’da verilmiştir. Bunun yanı sıra operatörlerin bakım ve operasyonel becerilerinin geliştirilmesine yönelik eğitim ve benzeri faaliyetlerde bulunulmuştur.

Şekil 40: Otonom Bakım Adım Sistematığı



Planlı bakım komitesinde, arızaları önlemek ve ekipman etkinliğini düşüren unsurlara karşı çalışmalar yürütmek amaçlanmıştır. Bu amaçla, planlı bakım sistematığının oluşturulmasına, otonom bakımın desteklenmesine, bilgisayar destekli bakım yönetim sisteminin oluşturulmasına ve bakım maliyetlerinin izlenmesine önem verilmiştir. İşletmedeki planlı bakım komitesi faaliyetlerine temel oluşturmak üzere JIPM tarafından önerilen 10 sütunlu planlı bakım uygulama politikası esas alınmıştır. Esas alınan uygulama politikası şekil 40’da verilmiştir.

Şekil 41: Planlı Bakım Uygulama Politikası



Kaynak: JMAC, 2014: 120.

Kalite bakım komitesinde, kalite yönetimini gerçekleştirmek ve kalite kayıplarını önlemek hedeflenmiştir. Bu anlamda işletmede, müşteri şikayetlerini azaltacak, poka yoke’yi yaygınlaştıracak, kalite yönetim sürecini geliştirecek ve hurdayı ve yeniden işlemi azaltacak aksiyonlar alınmıştır. Bu amaçla, kalite güvence (QA) ve kalite bakım (QM) matrisleri oluşturulmuştur. QA matrisi, kalite kusurlarının süreçlerle ilişkilendirilerek görselleştirilmesi ve çözümlerin geliştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. QM matrisi ise makinelerde istenilen kalite performansını sağlayacak çalışma koşullarını belirleme ve koruma amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 41’de QA matrisi ve şekil 42’de QM matrisi örnekleri verilmiştir.

Şekil 42: QA Matrisi Örneği

QA MATRİSİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
İstasyon	Proses Adımları İmalat, Montaj, Test Adımları	Modeller				Hata Tanımı	Audit Tespitleri	Montaj Tespitleri	Hata ppm	Hata Kaynağı						Hata Önleme Etkİnlİğİ	Hata Tespit Edilebilecek İstasyonlar (Üretim akışındaki)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		1	2	3	4					İnsan	Makine	Malzeme	Yöntem	Taşıma	Tasarım																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		X	X	X	X		1		0,0							PY																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

Şekil 43: QM Matrisi Örneği

QM Matrix															
Göstergeler				Ekipman Bilgileri											
İzleme Süklüğü	Puan	Sorumlu		İkon	İzleme Metodu	İkon	Ekipman Adı	Form No:	İlk Yayın Tarihi:						
		Operator	Görsel Kontrol												
İzleme Süklüğü	Puan	Sorumlu		İkon	İzleme Metodu	İkon	Ekipman Adı	Form No:	İlk Yayın Tarihi:						
		Operator	Görsel Kontrol												
İzleme Süklüğü	Puan	Sorumlu		İkon	İzleme Metodu	İkon	Ekipman Adı	Form No:	İlk Yayın Tarihi:						
		Operator	Görsel Kontrol												
İzleme Süklüğü	Puan	Sorumlu		İkon	İzleme Metodu	İkon	Ekipman Adı	Form No:	İlk Yayın Tarihi:						
		Operator	Görsel Kontrol												
İzleme Süklüğü	Puan	Sorumlu		İkon	İzleme Metodu	İkon	Ekipman Adı	Form No:	İlk Yayın Tarihi:						
		Operator	Görsel Kontrol												
İzleme Süklüğü	Puan	Sorumlu		İkon	İzleme Metodu	İkon	Ekipman Adı	Form No:	İlk Yayın Tarihi:						
		Operator	Görsel Kontrol												
İzleme Süklüğü	Puan	Sorumlu		İkon	İzleme Metodu	İkon	Ekipman Adı	Form No:	İlk Yayın Tarihi:						
		Operator	Görsel Kontrol												
İzleme Süklüğü															

Eğitim komitesinde, tđm çalışanların bilgi ve beceri dđzeyinin arttırılması amaçlanmıştır. İşletmede bu kapsamda, eğitim ihtiyaının belirlenmesine, eğitim politikalarının oluşturulmasına, eğitim salonlarının hazırlanmasına ve eğitim planlarının yapılıp uygulanmasına yđnelik çalışmalar yapılmıştır. Eğitim hedeflerini yakalamak için işletmede oluşturulmuş olan beceri matrisi rneği şekil 43’de verilmiştir.



Şekil 44: Beceri Matrisi Örneği

BECERİ MATRİSİ

Hedef		Öğreniyor		Nezaretle yapabilir		Kendi başına yapabilir		Uzman, eğitim verebilir												
Mevcut Durum																				
Sıra	SİCİL	PERSONEL	Yetenek 1	Yetenek 2	Yetenek 3	Yetenek 4	Yetenek 5	Yetenek 6	Yetenek 7	Yetenek 8	Yetenek 9	Yetenek 10	Yetenek 11	Yetenek 12	Yetenek 13	Yetenek 14	Yetenek 15	Yetenek 16	Yetenek 17	Yetenek 18
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				

Erken yönetim komitesinde, yeni bir ekipmanı veya yeni bir ürünü devreye alırken yaşanabilecek kayıpların önlenmesi amaçlanmıştır. Erken yönetim komitesinin kapsamında, ekipman temin ve ürün geliştirme süreçleri iyileştirilmiş ve işletmenin bilgi arşivi oluşturulmuştur. Oluşturulmuş olan bilgi arşivinden bir örnek şekil 44’de verilmiştir.

Şekil 45: Bilgi Arşivi Örneği

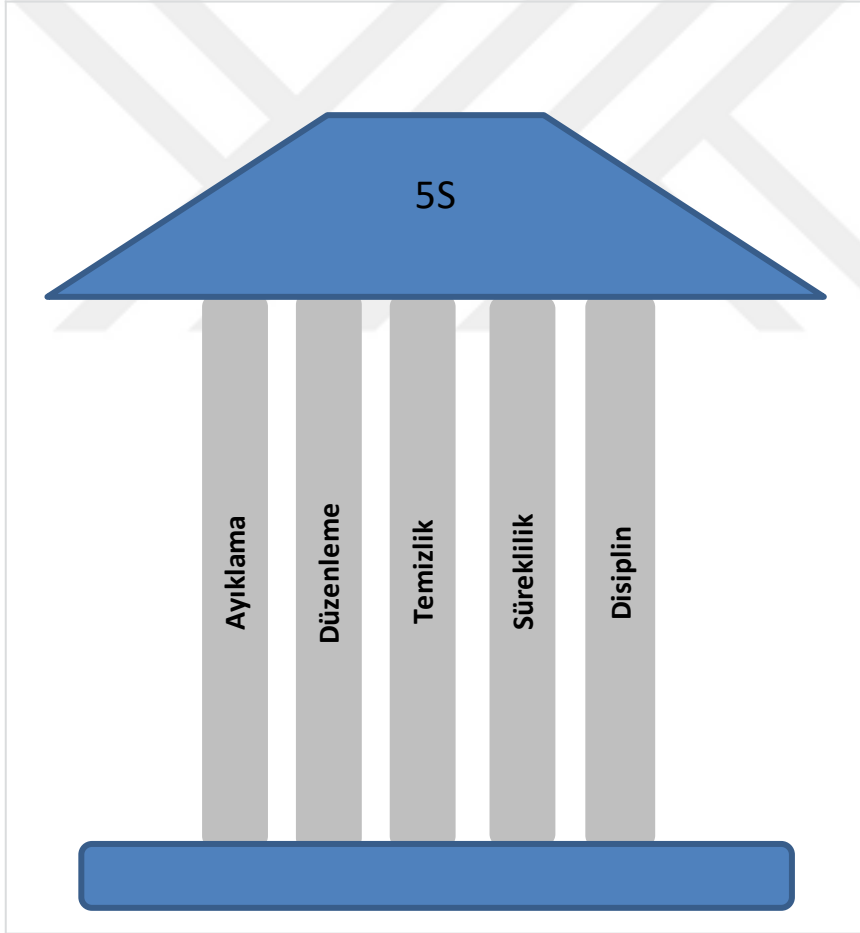
	BİLGİ ARŞİVİ	
Konu		
Fabrika		
Bölüm		
Ekipman/Hat/Ürün		
Kayıp Türü	☒ Verimlilik ☐ SEÇ ☐ Kalite	
Kayıt Tarihi		
Bilgi Sunan		
Bilgi Arşivi Açıklaması		

Ofis TPM komitesi kapsamında ofislerde ve yönetim birimlerinde TPM faaliyeti yürütülmüştür. Bu faaliyetlerde, ofislerde ve satınalma, muhasebe ve bütçe gibi endirek iş süreçlerinde kayıpların önlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, endirek işlerde Kaizen faaliyetleri yürütülmüş ve ofislerde iş süreçlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Sağlık, emniyet ve çevre (SEÇ) komitesinin amacı sağlıklı, emniyetli ve çevrenin korunmasına çaba sarf eden bir işletme yaratmaktır. Bu kapsamda, iş kazalarının önlenmesine, kaza risklerinin belirlenmesine, çevre bilincinin yaratılmasına ve enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar yapılmıştır.

5S komitesinin amacı iş yerinde tertip, düzen ve temizliğin sağlanmasıdır. Bu kapsamda işletmede 5S ile işlerin kolaylaştırıldığını gösteren eğitimler düzenlenmiştir. 5S kültürünün oluşturulması ile çalışanların düzensizlikten rahatsız olması sağlanmış ve aranan malzemeye ulaşma süresi kısaltılmıştır. 5S; ayıklama, düzenleme, temizleme, süreklilik ve disiplin olmak üzere 5 sütundan oluşmaktadır. İşletmede benimsenen 5S sütun yapısı şekil 45’de verilmiştir.

Şekil 46: 5S Sütun Yapısı



4.2 YÖNTEM

İşletmede mevcut durumda uygulanmakta olan TPM sisteminin gözden geçirilmesi ve bu sisteme, geliştirilen SSM modelinin entegrasyonunun değerlendirilmesi, uygulama yönteminin birinci adımını oluşturmaktadır. SSM modeline geçiş için, mevcut TPM eğitimlerinin üzerine çalışanlar Altı Sigma yöntemi konusunda eğitilmiş ve bakım bölümünde Altı Sigma uygulamaları gerçekleştirilmiştir. SSM modelinin uygulanması neticesinde elde edilecek veriler daha önce elde edilmiş verilerle karşılaştırılmış ve verimin nasıl değiştiği izlenmiştir. SSM modelinin etkinliği, SSM sistemler için geliştirilen performans ölçüm göstergesi aracılığı ile analiz edilmiştir.

4.2.1 Uygulamanın Amacı

Uygulamanın amacı, SSM felsefesinin Türkiye sanayisinde uygulanabilirliğini incelemektir. Dünyada, Altı Sigma bakım uygulamalarıyla ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Türkiye’de ise SSM sisteminin uygulamasına hem literatürde hem de sanayide rastlanmamaktadır. Bu uygulama ile bakım yönetim süreçlerinde TPM uygulamalarının yanında, Altı Sigma felsefesinin de kullanılabileceğini göstermek hedeflenmiş ve gerçekleştirilen uygulama ile sektöre yol göstermek amaçlanmıştır.

4.2.2 Uygulamanın Önemi

Çalışma ile SSM modeli uygulaması ülkemizde ilk kez gerçekleştirilmiştir. TPM ile Altı Sigma felsefelerinin bütünleştirilerek kullanılması sonucunda, sanayi işletmelerindeki bakım uygulamalarında daha az toplam maliyetli ve daha az hata ortaya çıkaracak bir bakım sistemi kurmak mümkün olmuştur. Ayrıca, SSM sistemler için geliştirilen performans ölçüm göstergesi, SSM sisteminin bakım performansına yararlarını belirlemede, mevcut literatüre katkı sağlamıştır.

4.3 UYGULAMA ADIMLARI

SSM modelinin uygulanmasından önce işletmede 2011 yılında, 4. Bölümün başında anlatılan uygulamalar ile TPM faaliyetlerine başlanmıştır. TPM faaliyetleriyle işletme genelinde pek çok konuda temel çalışmalar tamamlanmıştır.

Bakım yönetimiyle ilgili olan konularda da belli aşamalara gelinmiş ancak, 2014 yılı başı itibarıyla henüz istenilen bakım yönetimi ve ekipman kullanılabilirlik etkinliklerine erişilemediği görülmüştür.

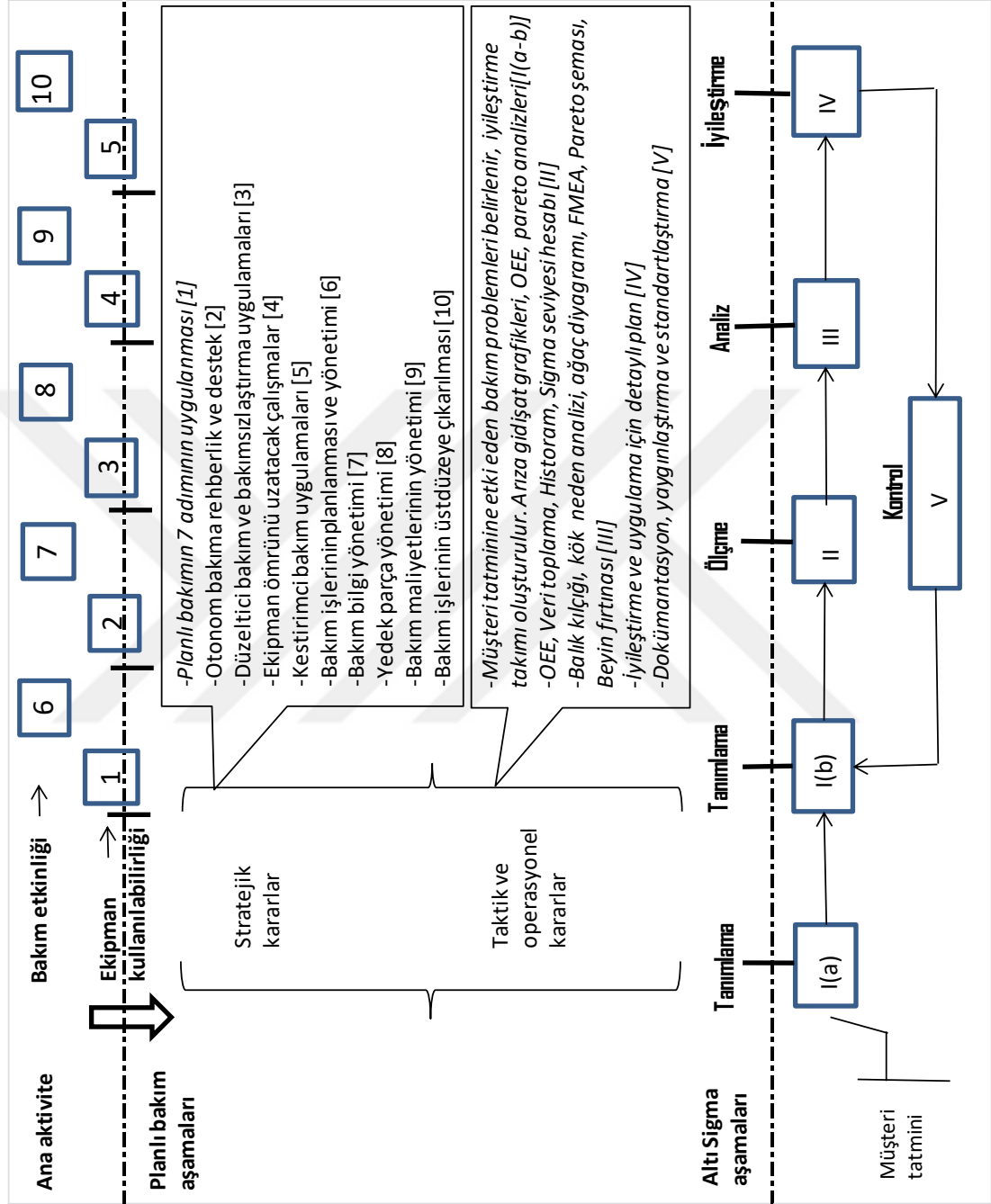
İşletmede SSM modelinin oluşturulması için ilk adım olarak etkin bir planlı bakım yönetimi kurulmuştur. Planlı bakım yönetiminin tüm unsurlarıyla etkinliği sağlandıktan sonra, müşteri tatminini sağlayacak iyileştirme noktalarının belirlenmesi ve sorunların giderilmesi için, Altı Sigma felsefesinin mevcut bakım yönetimi uygulamasına entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Son olarak, bütünleştirilmiş sistemin performansı belirlenmiş ve yıllar bazında karşılaştırma yapılmıştır.

4.3.1 SSM Modelinin Firmada Uygulanması

Geliştirilen modelin ana aktiviteler kısmındaki 10 sütundan oluşan planlı bakım uygulama politikası temel alınarak, uygulama yapılacak işletmede 2014 yılı itibarıyla modelin uygulanmasına başlanmıştır. Öncelikle, planlı bakım uygulama politikasına göre işletmenin mevcut durumu ve eksiklikleri belirlenmiş ve belirlenen eksikliklerin giderilme çalışmalarına hız verilmiştir.

İşletmenin mevcut durumunda, uygulama politikasındaki her bir sütun ile ilgili çalışmalar yapılmış ve yapılmaktaydı. İşletmenin TPM uygulama süresi baz alındığında her bir sütun için geline seviyeler yeterli durumdaydı. Ancak, SSM modelinin ana aktiviteler kısmında bulunan ve doğrudan arızalara yönelik olan 1. sütununun (planlı bakımın 7 adımı) uygulamasında tespit edilen eksiklikler, üzerine gidilmesi gereken konuları oluşturmaktaydı. Bunun yanı sıra, modeldeki Altı Sigma aşamaları kısmındaki DMAIC döngüsü uygulaması tamamiyle eksik durumdaydı. İşletmede uygulanan SSM modeli şekil 46'da verilmiştir.

Şekil 47: İşletmede Uygulanan SSM Modeli



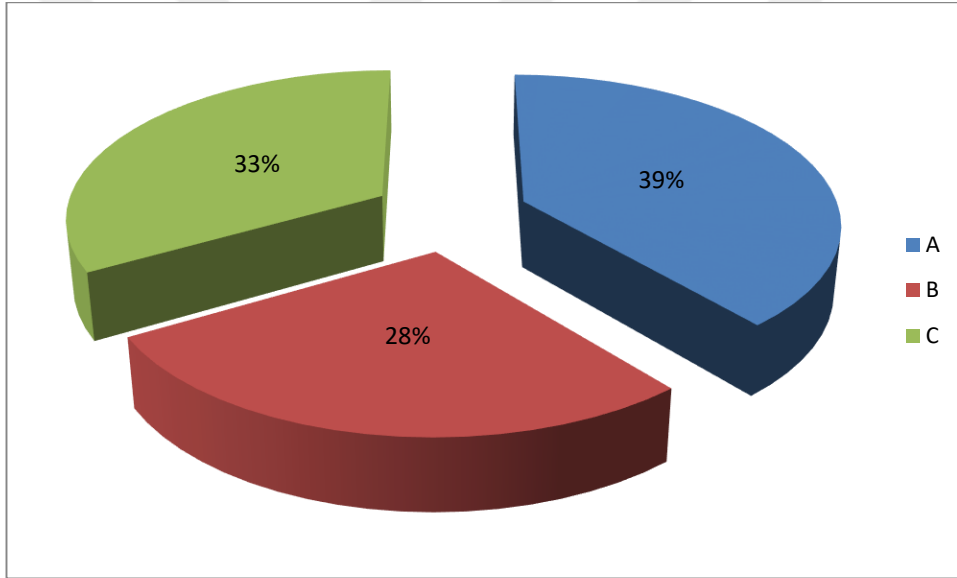
Kaynak: Sharma ve Sharma, 2014: 749.

Şekil 48: Kritiklik Analizi Formu

Makine Adı			Bölüm								
Kategori	No	Konu	Değerlendirme Puanı			Değerlendirme Kriteri	Ekipman 1	Ekipman 2			
Üretime Etkisi	1	Doluluk oranı kapasite kullanımı	4	2	1	%80'den fazla ise: 4 %40'dan az ise: 1	4	4			
	2	Alternatif ekipmanın varlığı, O makinaya geçiş çabukluğu	4	2	1	Alternatifi yok veya geçiş süresi uzun ise: 4 Alternatifi var ve geçiş hemen olabiliyor ise: 1	4	4			
	3	Arızalı olma halinin diğer ekipmanlara olacak etkisi	4	2	1	Fabrika içerisinde çok sayıda ekipmanı durduruyor ise: 4 Diğer ekipmanlara etkisi yok ise: 1	4	4			
	4	Ortalama arıza sıklığı (MTBF)	4	2	1	Ayda 4 kereden fazla ise: 4 Ayda 1 kereden az ise: 1	1	1			
	5	Ortalama onarım süresi (MTTR)	4	2	1	Bir günden uzun sürüyor ise: 4 saatten kısa ise: 1	1	1			
Kalite	6	Ürün kalitesine etkisi	4	2	1	Çok etkili ise: 4 Hiç etkisi yok ise: 1	4	4			
	7	Her bir oluşumda kalite hatasının maliyeti	4	2	1	1000 Euro'dan fazla ise: 4 1000 Euro'dan az ise: 1	1	1			
Maliyet	8	Arızalarda yitirilen enerji, malzeme, işgücü maliyeti (aylık)	4	2	1	1000 Euro'dan fazla ise: 4 1000 Euro'dan az ise: 1	2	4			
	9	Toplam onarım maliyeti (aylık)	4	2	1	Ayda 4000 Euro'dan fazla ise: 4 Ayda 1000 Euro'dan az ise: 1	1	3			
Güvenlik	10	İş kazası riski	4	2	1	Büyük risk taşıyor ise: 4 Hiçbir risk yok ise:1	1	3			
	11	Çevreyi kirletme riski	4	2	1	Büyük risk taşıyor ise: 4 Hiçbir risk yok ise:1	1	1			
						Genel Değerlendirme Puanı	24	30			
						Sınıf	A	B	C	B	A
							P>26	18<P<25	P<17		

Modelin stratejik kararlarının verildiği ana aktiviteler kısmının 1. aşamasında tespit edilen eksikliklerin giderilmesi için öncelikle işletmedeki ekipmanların kritiklik analizi yapılmıştır. Planlı bakım uygulamasında önceliği belirlemek üzere, şekil 47'deki form kullanılarak tüm ekipmanlar önem derecelerine göre A, B veya C sınıfı olarak tanımlanmıştır. Formda, 4 ana kategoride toplam 11 konu başlığı değerlendirilmiştir. Bu dört ana kategori ile ekipmanların üretime etkisi, kaliteye etkisi, maliyete etkisi ve güvenlik unsurları değerlendirilerek her bir ekipmanının kritiklik puanı belirlenmiştir. Tablonun altındaki ölçek ile değerlendirme puanları karşılaştırılarak ekipmanların hangi kritiklik sınıfında (A, B, C) oldukları belirlenmiştir.

Şekil 49: Önem Derecelerine Göre Ekipman Dağılımı



Fabrikada bulunan 18 adet ekipmanın %39'u A, %28'i B ve %33'ü C sınıfı ekipman olarak belirlenmiştir. Ekipman önem derecesine göre işletmedeki ekipman dağılımı şekil 48'de verilmiştir. Kritiklik analizinden sonra en yüksek öneme sahip ekipmanlardan başlanarak arızalar tanımlanmış ve arıza sebepleri analiz edilerek iyileştirme noktaları belirlenmiştir.

İkinci olarak, planlı bakım ana programı, uygulanabilirliği daha kolay olacak şekilde yeniden tasarlanmıştır. Şekil 49'da yeniden tasarlanan planlı bakım ana programının bir kısmı verilmiştir. Planlı bakım etkinliğini arttırmayı amaçlayan bu program ile bir yıl içerisinde, tüm ekipmanların tüm bakımlarının etkin bir şekilde

yapılabilmesi amaçlanırken, yıl içinde bakım için yaratılan zaman dilimlerinin verimli bir şekilde kullanılması hedeflenmiştir.

Oluşturulan ana bakım programına uyum oranını arttırmak için ve bakım planlarını uygulamak üzere mevcut personel içinden özel bir ekip kurulmuştur. Planlı bakım ekibi olarak adlandırılan bu oluşum, bakım bölümü organizasyon yapısına eklenmiştir. Şekil 50’de bakım bölümü organizasyon şeması verilmiştir. Şemada görüldüğü gibi bakım yöneticilerinin altında şekillenen örgüt yapısı içerisinde arıza ve planlı bakım ekipleri oluşturulmuştur. A, B ve PB vardiyalarında, postabaşlarının liderliğinde oluşturulan 6 adet ekip aynı zamanda TPM/Altı Sigma organizasyonunda yani SSM organizasyonunda iyileştirme (Kaizen) ekipleri olarak kullanılmıştır.

Şekil 50: Planlı Bakım Ana Programı

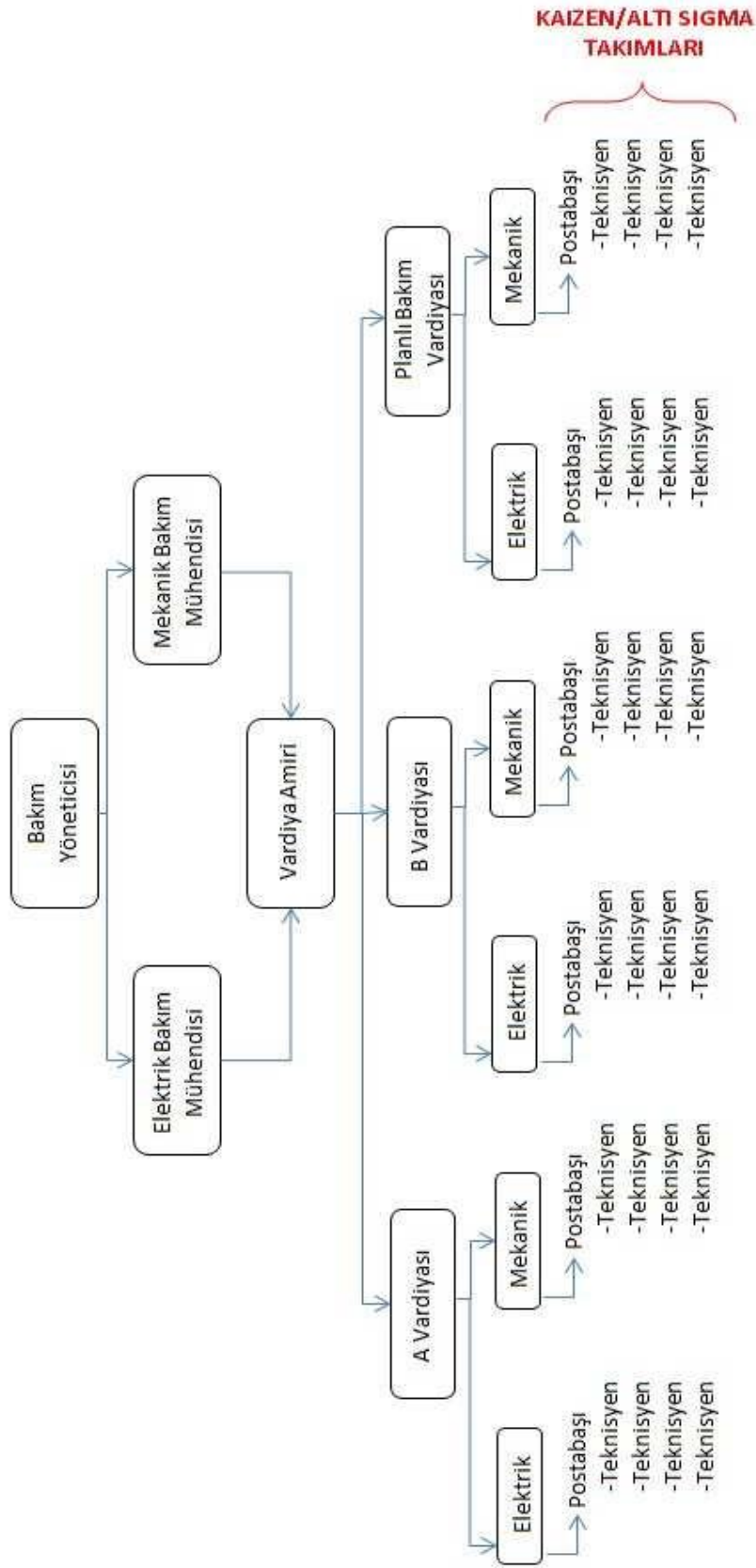
			FABRİKA BAKIM TAKVİMİ																	
VARLIKLAR			1. W		2. W		3. W		4. W		5. W		6. W		... W		... W		n. W	
BÖLÜM	MAKİNE/EKİPMAN	SINIF	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G
İMALAT BÖLÜMÜ	MAKİNA 1	B											A							
	MAKİNA 2	A												A						
	MAKİNA 3	B														A				
	MAKİNA 4	B											A							
	MAKİNA 5	B											6							
	MAKİNA 6	B												A						
	MAKİNA 7	B																		
	MAKİNA 8	B														A				
	MAKİNA ..	B																		
	MAKİNA ..	A																	A	
	MAKİNA ..	C																	A	
	MAKİNA n	C																	A	
BOYAHANE	BOYAHANE	A											A							
MONTAJ BANDLARI	MAKİNA 1	A											3							
	MAKİNA 2	A											3							
	MAKİNA 3	A											3							

	MAKİNA 4	A												3					
	MAKİNA 5	A												3					
	MAKİNA 6	A												3					
	MAKİNA 7	A														3			
	MAKİNA 8	A														3			
	MAKİNA ..	A														3			
	MAKİNA ..	A																3	
	MAKİNA ..	A																3	
	MAKİNA n	A																3	

A: Aylık bakım, 3: Üç aylık bakım, 6: Altı aylık bakım, P: Planlanan, G: Gerçekleşen.



Şekil 51: Bakım Bölümü Organizasyon Şeması



Tablo 33: Planlı Bakım İş Adımları (Mekanik Bakım)

No	MEKANİK	Türü	Kriter	Periyot
1	Transfer kayışları, hurda konveyörleri, hidrolik ünitelerin kontrolü, yağ kaçağı kontrolü, hidrolik hortum ve kelepçelerin kontrolü, vakum sistemi bakımı, lineer rulman kontrolleri, hidrolik filtrelerin kontrolü	ZBB		1 AY
2	Preslerde: Kaçak kontrolü, gerekiyorsa keçe değişimi	ZBB		
3	Rulo açıcı: civataların kontrolü + redüktör kontrolü + kama kontrolü	ZBB		3 AY
4	Transfer Kollarında: Kama boşlukları, kayış gerginlerinin kontrolü	ZBB		
5	Hidrolik yağların filtrelenmesi	KBB	NAS 10	
6	Tüm frenli motorların motor milindeki kama boşluğu kontrol edilmesi	KBB	Kama boşluğu 2mm ya da daha büyük ise değiştir.	6 AY

Tablo 34: Planlı Bakım İş Adımları (Elektrik Bakım)

No	ELEKTRİK	Türü	Kriter	Periyot
1	AC motorların gövde bağlantı ayakları çatlaklık kontrolü yapılacak.	ZBB		1 AY
2	Hareketli kablo kanalları kontrol edilecek, gerekenler değiştirilecek veya sağlamlaştırılacak gereken ancak ambarda bulunmayan kablo kanalları tespit edilecek.	ZBB		3 AY
3	Sensör, sensör soketleri ve bağlantı parçaları kontrol edilecek, klemens ile ek yapılan sensör kabloları değiştirilecek.	ZBB		
4	Tüm hidrolik tankların seviye switchlerinin çalışırılığı kontrol edilecek.	ZBB		

5	Köprü atılan sensör var mı? Kontrol edilip, düzeltililecek.	ZBB		
6	Tüm frenli motorların fren balata bakımları yapılacak. Balata ve şim kalınlığı kontrol edilecek.	KBB	Kalınlık 1 mm ve altında ise balata değiştirilecek.	6 AY
7	Tüm frenli motorların fren ayarları sentille kontrol edilecek. (0,18-0,55kW → 0,25-0,35mm aralığına, 0,75-1,5kW → 0,35-0,40mm aralığına, 2,2-4,0kW → 0,40-0,55mm aralığına)	KBB	Balata boşluğu belirtilen değerden farklı ise ayarlanacak.	
8	Elektrik panoları temizlenecek, kontaktör ve sigortalara bağlı kabloların sıkılıkları kontrol edilecek.	ZBB		
9	Hareketli kablo kanallarındaki profibus kabloları yenilenecek	ZBB		
10	Elektrik pano klimalarının bakımı yapılacak.	ZBB		1 YIL
11	Hidrolik motorların izolasyonları ölçülecek.	KBB	100 Mohm gösteren sargı var ise izolasyona gönderilecek.	

Ana bakım planının hazırlanmasının ardından makinaların planlı bakım iş adımları yeniden düzenlenmiş ve eksiklikleri giderilmiştir. Planlı bakım takvimi içerisinde ZBB (Zaman bazlı bakım) noktaları oluşturularak, ekipman bileşenlerinin periyodik olarak değiştirilmesi sağlanmıştır. Tablo 33 ve 34’de bir makinanın planlı bakım iş adımları verilmiştir. Tablo 33’de mekanik bakım, tablo 34’de elektrik bakım iş adımları verilen ekipmana; 1, 3, 6 ve 12 aylık periyotlarla bakım yapıldığı görülmektedir. ZBB noktalarının yanında KBB (Koşul bazlı bakım) noktaları da belirlenmiştir. KBB’de bakım işi bir koşula bağlanır ve koşul kriteri gerçekleştiğinde bakım yapılır. Koşul bazlı bakımlarda, koşul kriterinin kontrolü için çeşitli ölçü aletleri kullanılır. Koşul kriterinin belirlenmesi ise detaylı bir analizi gerektirir.

Ana bakım takviminin dışında kestirimci bakım takvimi de oluşturulmuştur. Bu kapsamda, termal ölçümler, hava kaçağı ölçümleri ve titreşim ölçümleri

gerçekleştirilmiştir. Gerek ana bakım planındaki gerekse kestirimci bakım planındaki her bir ekipman için iş adımları belirlenerek bakım işlerinin standartlaşması sağlanmıştır.

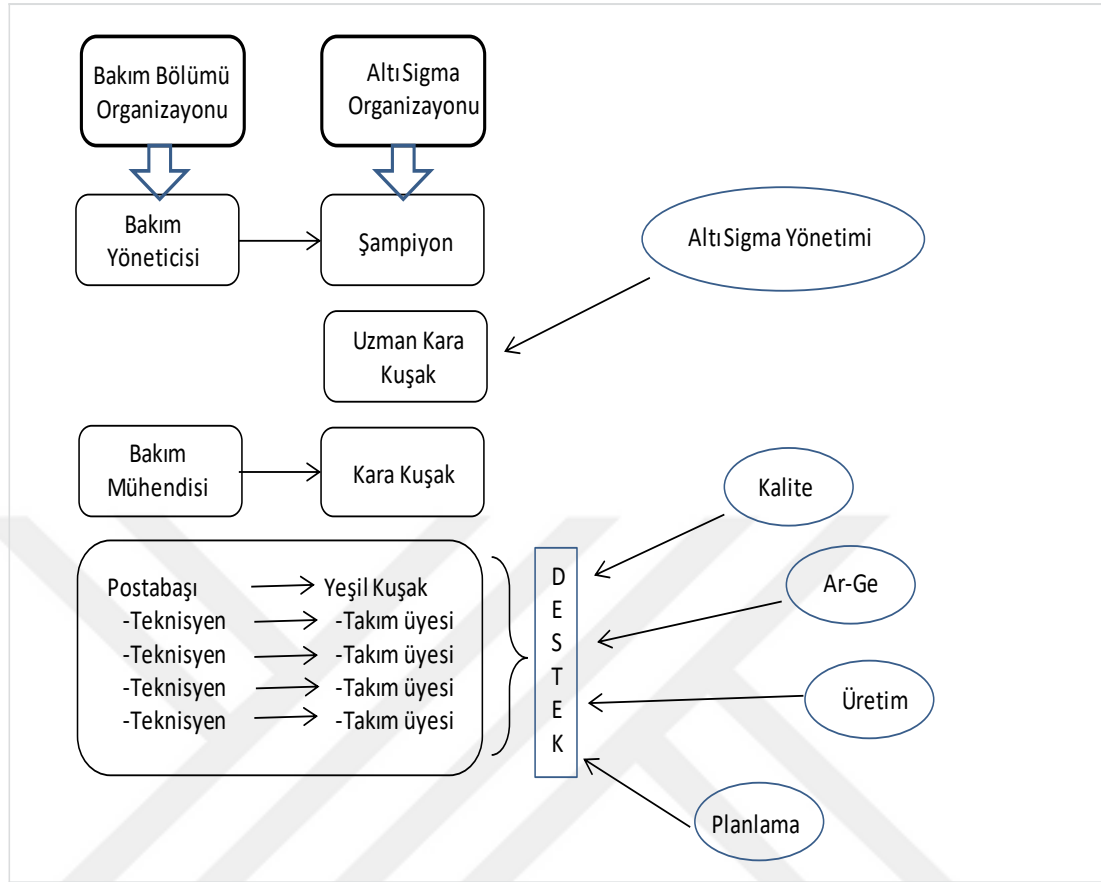
Uzun süren arızaların tekrar ortaya çıkmasını önlemek için kök neden analizi formatı hazırlanarak uygulamaya geçilmiştir ve bu format standart hale getirilmiştir. Kök neden analizi formu şekil 51’de verilmiştir. Analiz formundan görüldüğü gibi problem tanımı yapıldıktan sonra kök neden bulunana kadar neden sorusu sorulmaya devam edilmiştir. Böylece problemin ortaya çıkmasına sebep olan ilk etmen belirlenip ortadan kaldırılarak problemin tekrarı önlenmiştir.

Bakım bölümü organizasyon şemasına eklenen planlı bakım ekibinin yanı sıra iyileştirme çalışmalarının artırılması için bakım bölümü içerisindeki mevcut ekipler, Kaizen/Altı Sigma ekipleri olarak da tanımlanmıştır ve bu yönde eğitime tabi tutulmuşlardır. Bu ekiplere Kaizen/Altı Sigma konusuna göre ihtiyaç duyulduğunda diğer birimlerden personel desteği sağlanmıştır. Ekiplerin çalışmaları, ekipman zayıflıklarının yok edilmesi için belirlenen konular üzerinde çalışma yapmak olarak tasarlanmıştır. Çalışma yapılacak konuların belirlenmesinde OEE kayıplarından, arıza analizlerinden ve hata kartlarından yararlanılmıştır. Yapılan iyileştirme çalışmalarıyla; ekipmanın ömrünün uzatılması, arıza sıklığının azaltılması, bakımsızlaştırmanın sağlanması, tekrar eden arızaların sıfırlanması vb. kazanımlar elde edilmiştir.

Şekil 52: Kök Neden Analizi Formu

Arıza Kök Neden Analizi		
Fabrika : X fabrikası	Proses : Paketleme	Alan : Paketleme çıkışı
Makine – Ekipman :		
Problemin /Arızanın Tanımı :		
Paketleme hattı bujiler çakıyor. Alevlenme olmuyor.		
Arıza Neden Oldu?		
Alevlenme oluşmadığı için.		
Neden?		
Hatta doğalgaz gelmiyor.		
Neden?		
Doğalgaz emniyet valfi açılmıyor.		
Neden?		
Doğalgaz emniyet valfine enerji gelmiyor.		
Neden?		
Doğalgaz emniyet valfine enerji veren röle enerjilenmiyor.		
Neden?		
Röleyi enerjilendiren hava-gaz basınç switchleri kontak vermiyor.		
Aksiyon ve Karşı Önlemler:		Eğitim Gereksinimi:
1- Hava-gaz basınç switchlerine ayar yapıldı. 2-Hava-gaz filtrelerin belli zaman aralıklarında değiştirilmesi gerekli. 3- Hava-gaz basınç switchlerinin belli zaman aralıklarında çalışırılığının kontrol edilmesi gerekli.		Bilgi Arşivi Rapor Gereksinimi : PM & PdM Güncelleme Gereksinimi : Otonom Kontrol Güncelleme Gereksinimi :
ANALİZİ YAPAN	KONTROL	ONAY

Şekil 53: Kaizen/Altı Sigma Takımlarının Yapısı



Kaizen/Altı Sigma takımlarının yapısı şekil 52’de verilmiştir. Bakım bölümü içerisinde oluşturulan Altı Sigma takımlarında, her takımın postabaşı yeşil kuşak görevini, postabaşına bağlı teknisyenler ise Altı Sigma takım üyelerini teşkil etmektedir. İhtiyaç halinde fabrikadaki diğer bölümlerden Altı Sigma takımına destek sağlayacak yapı kurulmuştur. Bakım mühendisleri, Altı Sigma iyileştirme takımına liderlik ederek kara kuşak görevini üstlenmişlerdir. Uzman kara kuşak ihtiyacı ise şirket genelinde kurulu olan Altı Sigma yönetimi organizasyonundan sağlanmıştır. Bakım bölümü içerisinde oluşturulan Altı Sigma organizasyonunda şampiyon görevini ise bakım yöneticisi üstlenmiştir.

Şekil 46’daki modelde verilmiş olan 10 sütundan oluşan planlı bakım uygulama politikasında, birinci sütunun ilk 4 adımının eksiklikleri tamamlandıktan sonra son 3 adımda, kurulan sistemin daha verimli hale getirilme çalışmalarıyla, sürdürülebilirliğin sağlanması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, uygun bakım periyodları belirlenerek, kontrol ve bakım sürelerini kısaltacak iyileştirmeler

yaparak ve bakım iş gücü gereksinimini azaltarak, kontrol ve servis işleri daha verimli hale getirilmiştir. Altıncı adımdaki kalite bakım sisteminin kurulması ve yedinci adımdaki ekipman kullanımını en üst seviyeye çıkarılması için planlı bakım sisteminin kurulması çalışmaları arızaların %70 oranında düşürülmesinden sonra hayata geçirilecek şekilde planlanmıştır.

Tablo 35: Planlı Bakımın 7 Adımının Uygulanması

Adım	Tanım	İşletmede gerçekleştirilen faaliyetler
1	Mevcut durum ile ideal durum arasındaki farkların analizi	-Ekipman önceliklendirmesi yapıldı -Arızalar tanımlandı -Arıza sebepleri analiz edildi
2	Mevcut durum ile ideal durum arasındaki farklılıkların düzenlenmesi	-Ana bakım planı hazırlandı -Planlı bakım iş adımları düzenlendi -Planlı bakım ekibi oluşturuldu
3	İdeal durumu sürdürülebilmek için standartların oluşturulması	-Planlı bakım takvimi standart hale getirildi -Kestirimci bakım takvimi standart hale getirildi -Kök neden analizi standardı oluşturuldu
4	Ekipmanın çalışma ömrünün uzatılması ve zayıflıkların yok edilmesi	-İyileştirme takımları kuruldu -İyileştirme konularının seçimi ile ilgili eğitimler düzenlendi
5	Kontrolün ve servisin oluşturulması	-Bakım periyotları uygun hale getirildi -Bakım sürelerini kısaltacak çalışmalar -İş gücü gereksinimini azaltacak çalışmalar
6	Kapsamlı ekipman tanılamasının yapılması	Arızaların %70 oranında düşürülmesinden sonra hayata geçirilecek
7	Ekipman kullanımının en üst seviyeye çıkarılması	Arızaların %70 oranında düşürülmesinden sonra hayata geçirilecek

Uygulama modelinin ana aktiviteler kısmında 1. aşamada verilen planlı bakımın 7 adımının uygulanmasıyla ilgili işletmede yapılan çalışmalar tablo 35’de özetlenmiştir.

Şekil 46’da verilmiş olan modelin taktik ve operasyonel kararlarının verildiği Altı Sigma aşamaları kısmında, müşteri memnuniyetini sağlamak üzere yapılacak

alışmalar tasarlanmıştır. Bu amaçla öncelikle ana aktiviteler kısmında oluşturulmuş olan iyileştirme takımları, Altı Sigma felsefesi ile tanıştırılmış ve gerekli eēitim verilmiştir. Ardından bakım bölümü içinde Altı Sigma organizasyon yapısı oluşturulmuş ve uygulamalara geçilmiştir. Altı Sigma entegrasyonun hayata geçirilmesi DMAIC döngüsü içinde ele alınarak ařaēıdaki şekilde açıklanmıştır.

Tanımlama: Altı Sigma DMAIC modelinin işletmenin bakım yönetiminde kullanılmaya başlamasıyla öncelikle müşteri tatminine etki eden bakım problemleri ortaya çıkarılmış ve bu problemlere yönelik iyileştirme takımları belirlenmiştir. Ortaya ıkarılan problemlere ilişkin çalışma alanları tanımlanmış ve hedefler belirlenmiştir. Problemlerin belirlenmesi için oēunlukla pareto grafiklerinden, arıza gidişat göstergelerinden, hata kartlarından ve OEE grafiklerinden yararlanılmıştır.

lme: lme aşamasında, problemlerin mevcut durumları gözlenmiş ve tespit edilmiştir. Mevcut durumların belirlenmesinde, 5N 1K analizlerinden, sebep sonuç diyagramlarından, histogram grafiklerinden, OEE grafiklerinden ve sigma seviyesi hesaplamalarından yararlanılmıştır.

Analiz: Tanımlanan problemlerin mevcut durumlarının ortaya konmasından sonra problemin kaynaēına ulaştıracak analiz aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada çözümler listelenip nceliklendirilmış ve iyileştirme planları hazırlanmıştır. Problemlerin analiz edilmesinde; kök neden analizlerinden, beyin fırtınasından, sebep sonuç diyagramlarından, aēa diyagramlarından ve FMEA'dan yararlanılmıştır.

İyileştirme: İyileştirme aşamasında, önceki aşamada belirlenen kök nedenin ortadan kaldırılması amacıyla hazırlanan planlar detaylandırılarak uygulamaya geçilmiştir. Bu aşamada, olası çözümler tanımlanmıştır ve bir pilot çalışma ile işe başlanarak nihai çözümlere ulaşılmıştır. Detaylandırılan uygulama programının takip edilmesine önem verilmiştir. Bakım problemlerinin çözümünde, iyileştirme faaliyeti olarak genellikle düzeltici bakım uygulanmasına veya planlı bakım uygulanmasına karar verilmiştir.

Kontrol: Kontrol aşamasında ise uygulanan çözümler izlenerek doērulanmıřtır ve ihtiyaç olan başka bölgelerde yaygınlaştırılmıştır. Aynı zamanda sürekli liēinin saēlanması için uygulanan çözümler standartlaştırılmıştır.

4.3.2 SSM Modelinin Performansının Ölçülmesi

İşletmenin bakım bölümünde hayata geçirilen SSM modelinin performansı, işletmede bulunan üretim makinalarından birinin (W hattı) üzerinden alınan verilerle ölçülmüştür. Ölçüm çalışmalarına planlı bakım ve Altı Sigma uygulamalarından herhangi birinin uygulanmadığı 2013 yılı verileri incelenerek başlanmıştır. 2013 yılında, TPM'in planlı bakım uygulamalarının henüz oturmadığı zamanlarda, işletmede arıza bakımcılığı yapılmaktaydı. Sadece yıllık ve altı aylık genel fabrika duruşlarında planlı işler yapılmaya çalışılmaktaydı. 2014 yılında, üçüncü bölümde tanıtılan SSM modelinin ana aktiviteler kısmının işletmede uygulanmaya başlanmasıyla, planlı bakım eksikliği giderilmiştir. 2015 yılı itibariyle ise modelin operasyonel kararlarının verildiği Altı Sigma aşamaları sisteme adapte edilerek iyileştirme faaliyetlerine hız verilmiştir. Sistemin performansının belirlenmesinde 2013 yılı mevcut durum olarak alınmış, 2014 yılı planlı bakım faaliyetlerinin uygulandığı yıl, 2015 yılı ise planlı bakım faaliyetlerinin üzerine Altı Sigma felsefesinin eklendiği yıl olarak değerlendirmeye alınmıştır.

W hattının 2013 yılı çalışma süresi, arıza süresi ve planlı bakım süresi verileri kullanılarak, performans seviyesinin belirlenebilmesi için gerçekleştirilen hesaplamalar tablo 36'da verilmiştir. Tabloda planlı bakımın sadece ocak ve temmuz aylarında yapıldığı görülmektedir. Bunun sebebi 2013 yılında planlı bakımın sadece yıllık ve altı aylık duruşlarda yapılmasıdır. Tabloda aylar bazında DPMO ve sigma değerleri hesaplanmıştır ve 2013 yılı için ortalama değerler verilmiştir. Sigma değerleri formül 3.5 ve 3.6'dan yararlanılarak hesaplanmıştır. 2013 yılında gerçekleşen ortalama σ_1 ve σ_2 değerleri sırasıyla 2,97 ve 0,39'dur. Hesap yönteminin görülmesi açısından 2013 yılı ocak ayına ait sigma seviyesi hesabı aşağıda verilmiştir (DPMO-Sigma seviyesi dönüşümü için Ek 2'ye bakınız).

Tablo 36: W Hattı 2013 Yılı Verileri ve Hesaplama Sonuçları

W HATTI							
Bakım Uygulamaları Sigma Seviyesi							
Tarih	Toplam Çalışma Süresi -Dk- (B)	Arıza süresi -Dk- (X)	Gerçekleşen Toplam PB -Dk- (Y)	DPMO1	Sigma 1	DPMO2	Sigma 2
Oca.13	13.635	327	2.400	23.982	3,48	119.912	2,68
Şub.13	25.000	1.441	0	57.640	3,07	1.000.000	0,00
Mar.13	18.814	926	0	49.219	3,15	1.000.000	0,00
Nis.13	23.240	1.976	0	85.026	2,87	1.000.000	0,00
May.13	22.102	1.049	0	47.462	3,17	1.000.000	0,00
Haz.13	17.755	1.784	0	100.479	2,78	1.000.000	0,00
Tem.13	14.065	1.020	2.400	72.520	2,96	298.246	2,03
Ağu.13	15.290	1.850	0	120.994	2,67	1.000.000	0,00
Eyl.13	26.785	2.328	0	86.914	2,86	1.000.000	0,00
Eki.13	21.930	1.653	0	75.376	2,94	1.000.000	0,00
Kas.13	19.215	1.912	0	99.506	2,78	1.000.000	0,00
Ara.13	20.635	1.497	0	72.547	2,96	1.000.000	0,00
Ortalama	19.872	1.480	400	74.305	2,97	868.180	0,39

$$DPMO_1 = \frac{\text{Arıza bakım süresi (X)}}{\text{Toplam çalışma süresi (B)}} \times 1.000.000 \dots \dots \dots (3.5)$$

$$DPMO_{1(oca.13)} = \frac{327}{13.635} \times 1.000.000 = 23.982 \rightarrow \sigma_1 = 3,48$$

$$DPMO_2 = \frac{\text{Arıza bakım süresi (X)}}{\text{Toplam bakım süresi (X + Y)}} \times 1.000.000 \dots \dots \dots (3.6)$$

$$DPMO_{2(oca.13)} = \frac{327}{(327 + 2.400)} \times 1.000.000 = 119.912 \rightarrow \sigma_2 = 2,68$$

Tablo 37: W Hattı 2014 Yılı Verileri ve Hesaplama Sonuçları

W HATTI							
Bakım Uygulamaları Sigma Seviyesi							
Tarih	Toplam Çalışma Süresi -Dk- (B)	Arıza süresi -Dk- (X)	Gerçekleşen Toplam PB -Dk- (Y)	DPMO1	Sigma 1	DPMO2	Sigma 2
Oca.14	13.436	620	1.503	46.145	3,18	292.040	2,05
Şub.14	18.105	1.056	156	58.326	3,07	871.287	0,37
Mar.14	23.640	1.039	156	43.951	3,21	869.456	0,38
Nis.14	18.710	1.038	1.176	55.478	3,09	468.835	1,58
May.14	17.435	799	390	45.827	3,19	671.993	1,05
Haz.14	20.481	1.988	390	97.066	2,80	835.997	0,52
Tem.14	24.235	2.317	465	95.606	2,81	832.854	0,53
Ağu.14	21.830	785	390	35.960	3,30	668.085	1,07
Eyl.14	26.730	1.839	390	68.799	2,98	825.034	0,57
Eki.14	23.445	1.042	1.176	44.444	3,20	469.793	1,58
Kas.14	28.390	675	390	23.776	3,48	633.803	1,16
Ara.14	33.205	966	390	29.092	3,39	712.389	0,94
Ortalama	22.470	1.180	581	53.706	3,14	679.297	0,98

Planlı bakım faaliyetlerinin hayata geçirildiği 2014 yılı verileri ve hesaplamaları tablo 37’de verilmiştir. 2014 yılında gerçekleşen ortalama σ_1 ve σ_2 değerleri sırasıyla 3,14 ve 0,98’dir. Bakım yönetimine eklenen planlı bakım uygulamalarından sonra sistemin performansı, önerilen göstergenin performans şartları olan denklem 3.7 ve 3.8 yardımı ile ölçülmüştür.

$$\Delta\sigma_1 > 0 \rightarrow \sigma_1(t) - \sigma_1(t-1) > 0 \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\Delta\sigma_1 > 0 \rightarrow 3,14 - 2,97 = 0,17 > 0$$

$$\frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} > 1 \rightarrow \frac{\sigma_2(t) - \sigma_2(t-1)}{\sigma_1(t) - \sigma_1(t-1)} > 1 \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} > 1 \rightarrow \frac{0,98 - 0,39}{3,14 - 2,97} = 3,47 > 1$$

Denklem 3.7 ve 3.8'e göre elde edilen sonuçlar; 2013 ve 2014 yılları arasında W hattının performansının arttığını ve performans artışının sisteme eklenen planlı bakım faaliyetlerinin etkisi ile gerçekleştiğini göstermektedir. Tablo 36 ve 37'yi incelediğimizde, 2014 yılında, bir önceki yılda 1480 dakika olan aylık ortalama arıza süresinin (X), 1180 dakikaya düşürüldüğü görülmektedir. X'in azalmasıyla $DPMO_1$ değeri azalmış ve σ_1 değerinde artış sağlanmıştır. Yani denklem 3.7 sağlanmıştır. Yine tablolarda, aylık ortalama planlı bakım ve iyileştirme süresinin (Y) 400 dakikadan, 581 dakikaya arttırıldığı görülmektedir. Y'nin artmasının yanında X'in de azalmasıyla $DPMO_2$ değeri azalmış ve σ_2 değerinde, σ_1 değerinde gerçekleşenden daha büyük bir artış sağlanmıştır. Böylece denklem 3.8 sağlanmıştır.

Tablo 38: W Hattı 2015 Yılı Verileri ve Hesaplama Sonuçları

W HATTI							
Bakım Uygulamaları Sigma Seviyesi							
Tarih	Toplam Çalışma Süresi -Dk- (B)	Arıza süresi -Dk- (X)	Gerçekleşen Toplam PB -Dk- (Y)	DPMO1	Sigma 1	DPMO2	Sigma 2
Oca.15	10.287	413	5.010	40.148	3,25	76.157	2,93
Şub.15	28.760	999	624	34.736	3,32	615.527	1,21
Mar.15	23.125	910	624	39.351	3,26	593.220	1,26
Nis.15	25.670	1.646	2.352	64.122	3,02	411.706	1,72
May.15	22.900	649	624	28.341	3,41	509.819	1,48
Haz.15	25.590	1.344	624	52.521	3,12	682.927	1,02
Tem.15	27.040	1.003	2.790	37.093	3,29	264.434	2,13
Ağu.15	32.205	1.742	390	54.091	3,11	817.073	0,60
Eyl.15	31.060	1.333	390	42.917	3,22	773.651	0,75
Eki.15	24.860	1.707	1.176	68.665	2,99	592.092	1,27
Kas.15	31.045	1.388	312	44.709	3,20	816.471	0,60
Ara.15	31.330	2.021	312	64.507	3,02	866.267	0,39
Ortalama	26.156	1.263	1.269	47.600	3,18	584.945	1,28

Planlı bakım faaliyetlerinin üzerine Alt Sigma felsefesinin eklendiği 2015 yılı verileri ve hesaplamaları tablo 38'de verilmiştir. 2015 yılında gerçekleşen ortalama σ_1 ve σ_2 değerleri sırasıyla 3,18 ve 1,28'dir. Bakım yönetimine eklenen Altı Sigma uygulamalarından sonra sistemin performansı, önerilen göstergenin performans şartları olan denklem 3.7 ve 3.8 yardımı ile ölçülmüştür.

$$\Delta\sigma_1 > 0 \rightarrow 3,18 - 3,14 = 0,04 > 0$$

$$\frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} > 1 \rightarrow \frac{1,28 - 0,98}{3,18 - 3,14} = 7,5 > 1$$

Denklem 3.7 ve 3.8'e göre elde edilen sonuçlar; 2014 ve 2015 yılları arasında W hattının performansının arttığını ve performans artışının sisteme eklenen planlı bakım ve Altı Sigma faaliyetlerinin etkisi ile gerçekleştiğini göstermektedir. Tablo 37 ve 38'i incelediğimizde, 2015 yılında, 2014 yılına göre aylık ortalama arıza süresi artarak 1180 dakikadan 1263 dakikaya çıkmıştır (Artış oranı: %7). Ancak aylık ortalama çalışma süresinin (B) daha yüksek oranda (%16) artmasıyla $DPMO_1$ değeri azalmış ve σ_1 değerinde artış sağlanmıştır. Yani denklem 3.7 sağlanmıştır. Çalışma süresinin artışı, 2015 yılında sipariş miktarının artmasıyla açıklanabilmektedir. Yine tablolarda, aylık ortalama planlı bakım ve iyileştirme süresinin (Y) 581 dakikadan 1269 dakikaya artırıldığı görülmektedir. Y'nin artmasının yanında X'in de çalışma süresine oranla azalmasıyla $DPMO_2$ değeri azalmış ve σ_2 değerinde, σ_1 değerinde gerçekleşenden daha büyük bir artış sağlanmıştır. Böylece denklem 3.8 sağlanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz rekabet koşullarında şirketlerin varlıklarını sürdürebilmeleri için karlılıklarını arttırmaları gerekmektedir. Karlılık artışını sağlamanın yollarından biri üretim verimliliğini arttırmaktır. Bu amaçla kullanılan yönetim sistemlerinin arasında yer alan Altı Sigma ve TPM felsefeleri, bu çalışmada beraber kullanılarak verimlilik artışı sağlanmaya çalışılmıştır. Bakım yönetiminin odağında gerçekleştirilen çalışmada, SSM kavramı üzerinde durularak verimlilik artışının gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği araştırılmıştır.

Altı Sigma Bakım (SSM) bütünleşik sisteminin bakım performansına etkisinin incelendiği çalışmanın teori kısmında, bakım bölümünde uygulanması önerilen SSM modeli geliştirilmiştir. Bu model geliştirilirken literatürdeki mevcut teoriler ve modeller detaylı incelenmiştir. Bu model ile bakım süreçlerinde TPM uygulamalarının yanında, Altı Sigma felsefesinin de kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Ayrıca, uygulanan bütünleşik sistemin etkisinin ölçülmesi için bir performans ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Mevcut performans göstergelerinin bütünleşik sistemlerin performansını ölçümde yetersiz kaldığı düşünülerek geliştirilen bu performans ölçüm sistemi, literatürdeki örneklerinden ayrılmaktadır. Literatürdeki uygulamalarda gerçekleştirilen iyileşmelerin, bütünleşik sistemden dolayı mı, yoksa bütünleştirilen sistemlerin ayrı ayrı etkilerinden dolayı mı gerçekleştiğinin ayrımının yapılamadığı görülmüştür.

Geliştirilen SSM modelinin uygulaması, tüketici elektroniği sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Bakım yönetimi için geliştirilen model, işletmenin bakım bölümünde önerildiği şekilde hayata geçirilmiştir. Ardından, hayata geçirilen sistemin yıllar bazında performans seviyesi ölçülerek karşılaştırma yapılmıştır. Sistemin performansının ölçülmesinde ise geliştirilen performans ölçüm sisteminden yararlanılmıştır.

Modelin, işletmenin bakım bölümünde hayata geçirilmesi sırasında, stratejik kararların verildiği ana aktiviteler kısmındaki 10 sütunlu planlı bakım uygulama politikası baz alınarak, öncelikle planlı bakım uygulamasındaki eksikler giderilmiştir. Bu kapsamda; ekipman kritiklik analizi yapılmış, planlı bakım ana programı yeniden tasarlanmış, planlı bakım işlerini yönetecek ayrı bir ekip oluşturulmuş, ekipman

bakımı iş adımları yeniden oluşturulmuş, kök neden analiz standardı oluşturulmuş, iyileştirme takımları kurulmuş ve eğitilmiş ve bakım periyotları uygun hale getirilmiştir. Modelin taktik kararlarının verildiği alt aktivite kısmına ise Altı Sigma felsefesi yerleştirilmiştir. Bu kapsamda, ana aktivite kısmında oluşturulmuş olan iyileştirme takımları Altı Sigma ile tanıştırılmış ve gerekli eğitime tabi tutulmuştur. Ardından bakım bölümü içinde Altı Sigma organizasyon yapısı oluşturulmuştur.

SSM modeli hayata geçirildikten sonra işletmede yıllar bazında modelin performans ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, üretim makinalarının birinden alınan veriden yararlanılmıştır. Bu ölçüm ile gerçekleşecek performans artışının SSM sistemin doğrudan etkisiyle ortaya çıkıp çıkmadığı tayin edilmeye çalışılmıştır. Performansı ölçülen makine, 3 dönem olarak ele alınmıştır. Birinci dönem SSM sisteminin olmadığı, ikinci dönem SSM modelinin ana aktiviteler kısmı uygulandıktan sonraki ve üçüncü dönem SSM sisteminin alt aktiviteler yani Altı Sigma kısmı uygulandıktan sonraki dönemdir.

SSM sisteminin olmadığı 2013 yılı verileri ve SSM sisteminin ana aktiviteler kısmının uygulandığı 2014 yılı verileri geliştirilen gösterge ile ölçülmüştür. Sigma 1, 2,97 seviyesinden 3,14 seviyesine; Sigma 2 ise 0,39 seviyesinden 0,98 seviyesine çıkarılmıştır. Ölçüm sonucunda, göstergenin birinci şartı olan $\Delta\sigma_1 > 0$ ve ikinci şartı olan $\frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} > 1$ eşitsizliklerinin sağlandığı görülmüştür. Bu durumda, performans artışının gerçekleştiği ve bu artışın uygulanan SSM sistemin doğrudan etkisiyle ortaya çıktığı söylenebilir.

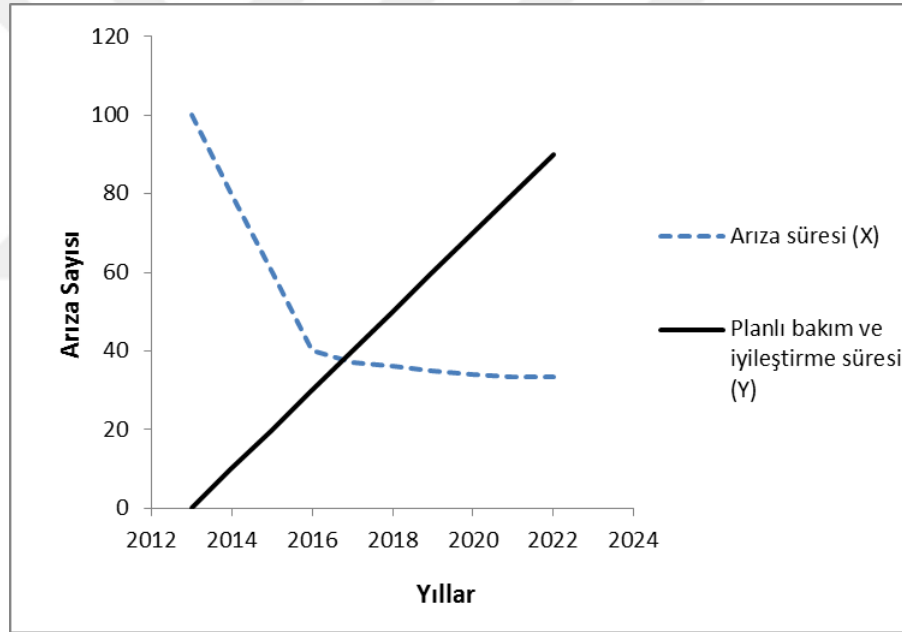
2014 yılı verileri ve SSM sisteminin alt aktiviteler kısmının sisteme eklendiği 2015 yılı verilerinin geliştirilen gösterge ile ölçülmesi sonucunda, birinci ve ikinci şartların tekrar sağlandığı görülmüştür. Bu iki yıl arasında sigma 1; 3,14 seviyesinden 3,18 seviyesine; Sigma 2 ise 0,98 seviyesinden 1,28 seviyesine çıkarılmıştır. Bu durumda, sistemin tamamı uygulandıktan sonra da bir önceki yıla göre performans artışının gerçekleştiği ve bu artışta uygulanan SSM sisteminin doğrudan etkisi olduğu söylenebilir.

Gerçekleştirilen SSM modeli uygulaması ve bu modelin performans düzeyinin ölçümü neticesinde, işletmede bakım uygulamalarının sigma seviyesi arttırılmıştır. Bununla beraber gerçekleşen sigma seviyesi artışı bütünleşik sistemin doğrudan etkisi ile ortaya çıkmıştır. Bu durumda, Altı Sigma'nın TPM

uygulamalarıyla birlikte kullanılması işletmeye fayda sağlamaktadır diyebiliriz. Ayrıca bu fayda Alt Sigma ve TPM uygulamalarının ayrı ayrı etkilerinden değil, bu iki felsefenin birlikte yarattığı bütünlük yapıdan gelmektedir.

Gelecekte, bu çalışmada geliştirilen SSM modeli ve performans ölçüm sistemi benzer ve farklı sektörlerde uygulama yapılarak yöntemin geçerliliği test edilebilir. Ancak, geliştirilen göstergenin uygulanmasıyla ilgili bir kısıt olduğu görülmüştür. Planlı bakım ve iyileştirme faaliyetlerinin (Y) sürekli artması, önerilen göstergeye göre matematiksel olarak performansı artırırken, üretim işletmelerinin tercih etmeyebileceği bir durum ortaya çıkaracaktır.

Şekil 54: Arıza Süresi (X) ile Planlı Bakım ve İyileştirme Süresi (Y) ilişkisi



Bütünlük bir SSM yönetim sisteminin yeni kullanılmaya başlandığı şirketlerde, gösterge geliştirildiği şekliyle kullanılabilir fakat SSM ile ya da bütünlük olan ya da olmayan başka bakım yönetim sistemlerini kullanarak belli bir seviyeye gelmiş şirketlerde geliştirilen göstergedeki Y'yi arttırmaya devam etmek faydasız olacaktır. Örneğin, başlangıçta planlı bakımın hiç yapılmadığı ($Y=0$ dk) ve belli bir miktar arıza süresi ($X=100$ dk) olan bir işletmeyi düşünelim. Planlı bakım ve iyileştirme çalışmalarının başlaması ve artmasıyla Y ve X arasındaki ilişki şekil

53’de görüldüğü gibi bir noktada sınırlanacak ve artık Y’yi arttırmanın X’e bir faydası olmayacaktır (Şekil 53’deki rakamlar bir çalışmanın sonucu değildir, yargısal rakamlardır).

X eğrisinin yataylaştığı seviyede arızalar sifıra yaklaşmış olabilir ya da grafikte görüldüğü gibi daha yüksek bir seviyede kalabilir. Her iki durumda da arıza azalımı durma noktasına geleceği için Y’yi optimize etme ihtiyacı doğacaktır. Diğer bir husus, toplam çalışma süresinin ancak belli bir kısmının planlı bakım ve iyileştirme çalışmalarına ayrılabilceğidir. 100 birimlik toplam çalışma süresinin 90 birimini Y’ye ayıramayız. Belki 10 birimi ayrılabilir ve bu durumda da Y için bir optimizasyon ihtiyacı doğmaktadır. Bu nedenlerle, bakım yönetim sistemini oturtmuş şirketler için Y’nin sınırını tayin edecek çalışmalar yapılmasının faydalı olacağını düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Ahuja, I. P. S. ve Khamba, J. S. (2008). Total Productive Maintenance: Literature Review and Directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 25(7): 709-756.

Aldridge, J. R. ve Dale, B. G. (1994). Failure Mode and Effects Analysis. *Managing Quality* (pp. 451-468). UK: Prentice Hall International.

Al-Hassan, K., Chan, J. F. ve Metcalfe, A. V. (2000). The Role of Total Productive Maintenance in Business Excellence. *Total Quality Management*. 11: 596-601.

Al-Mishari, S. T. ve Suliman, S. (2008). Integrating Six Sigma with Other Reliability Improvement Methods in Equipment Reliability and Maintenance Applications. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 14(1): 59-70.

Bartz, T. ve Siluk, J. C. M. (2011). Evaluation of Maintenance Performance in a Metalworking Company: a Case Study and Proposal of New Indicators. *Product: Management & Development*. 9(1): 77-85.

Bartz, T., Siluk, J. C. M. ve Bartz, A. P. B. (2014). Improvement of Industrial Performance with TPM Implementation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 20(1): 2-29.

Baş, T. (2003). *Altı Sigma*. E-Kitap: Kalite Ofisi Yayınları, No:5.

Behara, R. S., Fontenot, G. F. ve Gresham, A. (1995). Customer Satisfaction Measurement and Analysis Using Six Sigma. *International Journal of Quality and Reliability Management*. 12(3): 9-18.

Bothe, D. R. (1997). *Measuring Process Capability: Techniques and Calculations for Quality and Manufacturing Engineers*. USA: McGraw-Hill.

Brah, S. A. ve Chong, W. K. (2004). Relationship Between Total Productive Maintenance and Performance. *International Journal of Production Research*. 42(12): 2383-2401.

Breyfogle III, F. W. (1999). *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. New York: John Wiley and Sons.

Burn, G. R. (1994). Quality Function Deployment. *Managing Quality* (pp. 411-437). UK: Prentice Hall International.

Caulcutt, R. (2001). Why is Six Sigma so Successful? *Journal of Applied Statistics*. 28(3&4): 301-306.

Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K. ve Kong, S. (2005). Implementation of Total Productive Maintenance: a Case Study. *International Journal of Production Economics*. 95: 71-94.

Chan, L. K., Cheng, S. W. ve Spiring, F. A. (1988). A New Measure of Process Capability: C_{pm} . *Journal of Quality Technology*. 20(3): 162-175.

Chase, N. (1999). Six Sigma Black Belts Stamp Out Tough Quality Problems. *Quality Magazine*. 38(9): 32-39.

Cua, K. O., Mckone, K. E. ve Schroeder, R. G. (2001). Relationships Between Implementation of TQM, JIT, and TPM and Manufacturing Performance. *Journal of Operations Management*. 19: 675-694.

Dale, B. G., Bunney, H. S. ve Shaw, P. (1994). Quality Management Tools and Techniques: An Overview. *Managing Quality* (pp. 379-410). UK: Prentice Hall International.

Demir, H. ve Gümüşoğlu, Ş. (1998). *Üretim Yönetimi (İşlemler Yönetimi)*. İstanbul: Beta Basım Yayın Dağıtım.

Doğan, Ü. (1991). *Kalite Yönetimi ve Kontrolü*. İzmir: İstiklal Matbaası.

Ertuğrul, İ. (2006). *Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri*. Bursa: Ekin Kitapevi.

Eskin, M., Tiryakioğlu, U. ve Yüceil, H. D. (2011). *Sanayide Sürekli Gelişme için “Kaizen”*. İstanbul: İstanbul Sanayi Odası.

Firuzan, A. R. ve Kuvvetli, Ü. (2012). 1,5 Sigma Kaymanın İstatistiksel Nedenleri Üzerine bir Araştırma. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*. 16: 1-11.

Foster, S. T. (2004). *Managing Quality: An Integrative Approach*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Gibbons, P. M. ve Burgess, S. C. (2010). Introduction OEE as a Measure of Lean Six Sigma Capability. *International Journal of Lean Six Sigma*. 1(2): 134-156.

Gitlow, H. S. ve Levine, D. M. (2005). *Six Sigma for Green Belts and Champions*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Gürsakal, N. ve Oğuzlar, A. (2003). *Altı Sigma*. Bursa: Vipaş Yayınları.

Hagemeyer, C., Gershenson, J. K. ve Johnson, D. M. (2006). Classification and Application of Problem Solving Quality Tools: a Manufacturing Case Study. *The TQM Magazine*. 18(5): 455-483.

Holtz, R. W. ve Campbell, P. A. (2003). Six Sigma: Its Implementation in Ford's Facility Management and Maintenance Functions. *Journal of Facilities Management*. 2(4): 320-329.

Ingle, S. ve Roe, W. (2001). Six Sigma Black Belt Implementation. *The TQM Magazine*. 13(4): 273-280.

Inozu, B. ve Radovic, I. (2002). Six Sigma Implementation for Ship Maintenance and Safety Management. *IAME 2002 Conference, 13-15 Kasım*. Panama: Panama City.

Ireland, F. ve Dale, B. G. (2001). A Study of Total Productive Maintenance Implementation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 7(3): 183-191.

JMAC, (2014). *TPM Manual: Exclusive Use for Vestel*. JMAC TPM Company.

Jostes, R. S. ve Helms, M. M. (1994). Total Productive Maintenance and Its Link to Total Quality Management. *MCB University Press*. 43(7): 18-20.

Kane, V. E. (1986). Process Capability Indices. *Journal of Quality Technology*. 18(1): 41-52.

Kolarik, W. J. (1995). *Creating Quality: Concepts, Systems, Strategies, and tools*. USA: McGraw-Hill.

Konecny, P. ve Thun, J. H. (2011). Do It Separately or Simultaneously – an Empirical Analysis of a Conjoint Implementation of TQM and TPM on Plant Performance. *International Journal of Production Economics*. 133: 496-507.

Kwon, W. (2014). *TPM Deploying Guidebook: The Key to Competitiveness and Profit-Producing*. ATPM Consulting Inc.

Lawrence, J. J. (1999). Use Mathematical Modeling to Give Your TPM Implementation Effort an Extra Boost. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 5(1): 62-69.

McAdam, R. ve Duffner, A. M. (1996). Implementation of Total Productive Maintenance in Support of an Established Total Quality Programme. *Total Quality Management*. 7(6): 613-630.

Mckone, K. E., Schroeder, R. G. ve Cua, K. O. (1999). Total Productive Maintenance: a Contextual View. *Journal of Operations Management*. 17: 123-144.

Mckone, K. E., Schroeder, R. G. ve Cua, K. O. (2001). The Impact of Total Productive Maintenance Practices on Manufacturing Performance. *Journal of Operations Management*. 19: 39-58.

Mckone, K. E. ve Weiss, E. N. (1998). TPM: Planned and Autonomous Maintenance: Bridging the Gap Between Practice and Research. *Production and Operations Management*. 7(4): 335-350.

Milosavljevic, P. ve Rall, K. (2005). Six Sigma Concept in the Maintenance Process of Technical Systems. *Facta Universitatis Mechanical Engineering*. 3(1): 93-108.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Cambridge: Productivity Press.

Oral, S. ve Yüksel, H. (2007). *Hizmet İşlemleri Yönetimi*. İzmir: Kanyılmaz Matbaası.

Öztürk, A. (2009). *Kalite Yönetimi ve Planlaması*. Bursa: Ekin Basın Yayın Dağıtım.

Özveri, O., Kabak, M. ve Keleş, Ç. (2016). Different OEE Approaches' Analysis of Applicability in Printing Sector. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 25: 264-277.

Pande, P. ve Holpp, L. (2002). *What is Six Sigma?* New York: McGraw-Hill.

Pande, S., P., Neuman, R., R. ve Cavanagh, R., R. (2004). *Six Sigma Yolu*. Çev. Nazif Güder. İstanbul: Klan Yayınları.

Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook: Revised and Expanded*. New York: McGraw-Hill.

Rodrigues, M. ve Hatakeyama, K. (2006). Analysis of the Fall of TPM in Companies. *Journal of Materials Processing Technology*. 179: 276-279.

Rubrich, L. ve Watson, M. (2004). *Implementing World Class Manufacturing: Includes Lean Enterprise*. Indiana: WCM Associates.

Schroeder, R. G. (2000). Six Sigma Quality Improvement: What is Six Sigma and What are the Important Implications? *First World Conference on Production and Operations Management (POM)*. Sevilla.

Seow, C. ve Liu, J. (2006). Innovation in Maintenance Strategy Through Six Sigma: Insights of a Malaysian SME. *IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*: 793-797.

Sharma, R. K. ve Sharma, R. G. (2014). Integrating Six Sigma Culture and TPM Framework to Improve Manufacturing Performance in SMEs. *Quality and Reliability Engineering International*. 30: 745-765.

Shirose, K. (1995). *TPM Team Guide*. Portland: Productivity Press.

Snee, D. R. (2000). Six Sigma Improves Both Statistical Training and Processes. *Quality Process*. 33(10): 68-72.

S.P.A.C. (2003). *Altı Sigma Mükemmellik Modeli Nedir?* Ankara: S.P.A.C Danışmalık Şirketi Yayınları.

Swanson, L. (2001). Linking Maintenance Strategies to Performance. *International Journal of Production Economics*. 70: 237-244.

Taghizadegan, S. (2006). *Essentials of Lean Six Sigma*. ABD: Academic Press.

Thomas, A., Barton, R. ve Byard, P. (2008). Developing a Six Sigma Maintenance Model. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 14(3): 262-271.

Tiryakioğlu, U., Utaş, T. ve Savaş, H. (2011). *Toplam Verimli Yönetim "TPM"*. İstanbul: İstanbul Sanayi Odası.

Tsuchiya, S. (1992). *Quality Maintenance: Zero Defects Through Equipment Management*. Cambridge: Productivity Press.

Wal, R. W. E. ve Lynn, D. (2002). Total Productive Maintenance in a South African Pulp and Paper Company: a Case Study. *The TQM Magazine*. 4(16): 359-366.

Wang, X., Wang, Y. ve Xu, D. (2012). Lean Six Sigma Implementation in Equipment Maintenance Process. *IEEE*: 1391-1395.

Willmott, P. ve McCarthy, D. (2001). *TPM – a Route to World-Class Performance*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Yüksel, H. (2010). *Üretim/İşlemler Yönetimi (Temel Kavramlar)*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.



EKLER

Ek 2: Kontrol Şeması Sabit Değerler

Örnekteki gözlem sayısı	A_2	d_2	D_3	D_4
2	1,880	1,128	0	3,267
3	1,023	1,693	0	2,574
4	0,729	2,059	0	2,282
5	0,577	2,326	0	2,114
6	0,483	2,534	0	2,004
7	0,419	2,704	0,076	1,924
8	0,373	2,847	0,136	1,864
9	0,337	2,970	0,184	1,816
10	0,308	3,078	0,223	1,777
11	0,285	3,173	0,256	1,744
12	0,266	3,258	0,283	1,717
13	0,249	3,336	0,307	1,693
14	0,235	3,407	0,328	1,672
15	0,223	3,472	0,347	1,653
16	0,212	3,532	0,363	1,637
17	0,203	3,588	0,378	1,622
18	0,194	3,640	0,391	1,608
19	0,187	3,689	0,403	1,597
20	0,180	3,735	0,415	1,585
21	0,173	3,778	0,425	1,575
22	0,167	3,819	0,434	1,566
23	0,162	3,858	0,443	1,557
24	0,157	3,895	0,451	1,548
25	0,153	3,931	0,459	1,541

Ek 3: DPMO-Sigma Seviyesi Dönüşüm Tablosu

DPMO	Sigma Seviyesi
1.000.000	0,00
900.000	0,22
800.000	0,66
700.000	0,98
600.000	1,25
500.000	1,50
400.000	1,75
300.000	2,02
200.000	2,34
100.000	2,78
90.000	2,84
80.000	2,91
70.000	2,98
60.000	3,05
50.000	3,14
40.000	3,25
30.000	3,38
20.000	3,55
10.000	3,83
9.000	3,87
8.000	3,91
7.000	3,96
6.000	4,01
5.000	4,08
4.000	4,15
3.000	4,25
2.000	4,38

1.000	4,59
900	4,62
800	4,66
700	4,69
600	4,74
500	4,79
400	4,85
300	4,93
200	5,04
100	5,22
90	5,25
80	5,28
70	5,31
60	5,35
50	5,39
40	5,44
30	5,51
20	5,61
10	5,76
9	5,79
8	5,81
7	5,84
6	5,88
5	5,92
4	5,97
3,4	6,00
3	6,03
2	6,11
1	6,25