

Ürün Kalitesini İyileştirmede FMEA ve Bulanık AHP Yaklaşımları ve
PAF Modeli ile Kalite Maliyetlerinin İzlenmesi

Merve Soydinç Bey

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2023

FMEA and Fuzzy AHP Approaches in Improving Product Quality and
Monitoring Quality Costs with the PAF Model

Merve Soydinç Bey

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

July 2023

Ürün Kalitesini İyileştirmede FMEA ve Bulanık AHP Yaklaşımları ve
PAF Modeli ile Kalite Maliyetlerinin İzlenmesi

Merve Soydinç Bey

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemleri Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Meryem Uluskan

Temmuz 2023

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Kalite Yöntemi ve Kalite Güvence Sistemleri Bilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Merve Soydinç Bey'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Ürün Kalitesini İyileştirmede FMEA ve Bulanık AHP Yaklaşımları ve PAF Modeli ile Kalite Maliyetlerinin İzlenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Meryem ULUSKAN

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Doç. Dr. Meryem ULUSKAN

Üye: Doç. Dr. N. Fırat ÖZKAN

Üye: Doç. Dr. Emre ÇİMEN

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

Prof. Dr.

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Meryem Uluskan danışmanlığında hazırlamış olduğum “Ürün Kalitesini İyileştirmede FMEA ve Bulanık AHP Yaklaşımları ve PAF Modeli ile Kalite Maliyetlerinin İzlenmesi” başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 05/07/2023

Merve Soydinç Bey

ÖZET

Küreselleşen dünyada değişen şartlarla birlikte tüm işletmelerin rekabet edebilmeleri için kaliteye gerekli önemi vermeleri gerekmektedir. Bu nedenle kalitenin sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla kalite bileşenlerinin çok iyi anlaşılması ve uygulanması gerekmektedir. İşletmeler, son ürünü elde edene kadar geçirdikleri tüm süreçte müşteri beklentilerine yönelik minimum hata ve maksimum verimde yanıt vermelidir. Kalite iyileştirme faaliyetlerini gerçekleştirme konusu ise sürekli bir karar mekanizmasına sahiptir. Karar vermeyi gerektiren her durum, doğru karar verme yöntemleri kullanıldığında başarıyla sonuçlanacaktır.

Bu bağlamda, çalışma kapsamında X işletmesinde kalite planlaması için Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)'nden yararlanılarak süreçlerin risk düzeylerine göre sıralanması ve bu sıralamaya bağlı olarak Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) yöntemi ile ağırlıklandırma yapılarak öncelikli olarak uygulanması gereken iyileştirmelerin karar verilmesi, verilen kararların kalite maliyetlerinin PAF Modeli ile izlenerek üzerindeki etkisini gösterme amacı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, FMEA ve BAHP yöntemlerinin birlikte kullanılması ve PAF modeliyle maliyetlerin izlenmesi açısından literatüre katkı sağlamış ve bütüncül bir yaklaşım sergilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalite, kalite maliyetleri, FMEA, BAHP, PAF

SUMMARY

In the globalized world, with changing conditions, it is necessary for all businesses to give necessary importance to quality in order to compete. Therefore, in order to ensure the sustainability of quality, it is crucial to have a good understanding and implementation of the components of quality. Businesses should respond to customer expectations with minimum errors and maximum efficiency throughout the entire process until the final product is obtained. The implementation of quality improvement activities requires a continuous decision-making mechanism. When the correct decision-making methods are used, every situation that requires decision-making will result in success.

In this context, within the scope of this study, the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) was used in the quality planning of Company X to prioritize processes based on their risk levels and make decisions regarding the prioritized improvements using the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) method. The study also aims to demonstrate the impact of these decisions on quality costs by monitoring them using the PAF Model. This study contributes to the literature by combining the FMEA and FAHP methods and demonstrating a holistic approach through the monitoring of costs with the PAF model.

Keywords: Quality, cost of quality, FMEA, FAHP, PAF

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim süresince her zaman desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanlığımı üstlenip çalışma konum hakkında fikir ve önerilerini sunan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Meryem ULUSKAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca manevi olarak yanımda olduğu ve bana verdiği sonsuz destek için sevgili eşime teşekkür ederim.

Merve Soydinç Bey

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. AHP ve FMEA Yöntemlerini Ayrı Ele Alan Çalışmalar	4
2.2. AHP ve FMEA Yöntemlerini Birlikte Ele Alan Çalışmalar	8
2.3. PAF Modeli'ni Ele Alan Çalışmalar	10
3. TEORİK BİLGİ.....	13
3.1. Kaliteye Genel Bakış	13
3.1.1. Kalite kavramı ve tanımları	13
3.1.2. Kalitenin tarihçesi.....	14
<u>3.1.2.1. Muayene</u>	15
<u>3.1.2.2. Kalite kontrol</u>	15
<u>3.1.2.3. Kalite güvence</u>	15
<u>3.1.2.4. Toplam Kalite Yönetimi</u>	15
3.1.3. Toplam Kalite Yönetimi.....	17
<u>3.1.3.1. Toplam kalite yönetiminde kullanılan temel araçlar</u>	18
3.2. Kalite maliyetleri	19
3.2.1. Crosby Maliyet Modeli.....	21
3.2.2. Süreç Maliyet Modeli	21
3.2.3. Faaliyet Tabanlı Maliyet Modeli	22
3.2.4. Fırsat Maliyetleri	22
3.2.5. Taguchi Kayıp Fonksiyonu	22
3.2.6. PAF Modeli	23

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
3.2.6.1. Önleme maliyetleri	23
3.2.6.2. Ölçme ve değerlendirme maliyetleri	24
3.2.6.3. Başarısızlık maliyetleri	25
3.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)	29
3.3.1. Sistem FMEA	31
3.3.2. Proses FMEA.....	31
3.3.3. Tasarım FMEA	32
3.3.4. Servis FMEA	33
3.3.5. FMEA uygulama adımları	33
3.4. Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık AHP	38
3.4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	39
3.4.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP).....	42
3.4.2.1. Laarhoven ve Pedrycz yaklaşımı	45
3.4.2.2. Buckley yaklaşımı	46
3.4.2.3. Chang'ın Genişletilmiş Analiz Yöntemi	46
4. MATERYAL VE YÖNTEM	49
4.1. İşletmenin Tanıtımı, Üretim ve Kalite Süreci	49
4.2. Kalite Maliyetlerinin Muhasebeleştirilmesi	54
4.2.1. Önleme maliyetleri	55
4.2.2. Ölçme-değerlendirme maliyetleri.....	56
4.2.3. Başarısızlık maliyetleri	58
4.2.3.1. İçsel başarısızlık maliyetleri	58
4.2.3.2. Dışsal başarısızlık maliyetleri	59
4.3. Hata Türü ve Etkileri Analizinin Gerçekleştirilmesi	63
4.4. Kalite İyileştirme Faaliyetlerinin Görece Önemini Belirlemede Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Uygulaması	69
4.5. Analizler Sonucu Gerçekleştirilen Faaliyetler.....	74
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	76
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

1.1. Tez kapsamında kullanılacak yöntemlerin akış diyagramı gösterimi	3
3.1. Kalite anlayışının gelişimi (Türkmen, 1996).....	16
3.2. Kalite maliyet türü belirleme diyagramı (Karcıoğlu, 2000)	28
3.3. FMEA Uygulama Adımları (Bayrakdar, 2009).....	37
3.4. Analitik Hiyerarşi Süreci'ne ait temsili hiyerarşik yapı	39
3.5. Üçgen bulanık sayıların grafiği (Çitli, 2006).....	44
3.6. Yamuk bulanık sayılar grafiği (Çitli, 2006)	44
4.1. Akülü araba baskı devre kartı üretim aşamaları	49
4.2. Elektronik devre kartı üretim sürecinin kontrol noktaları	50
4.3. Kalite iyileştirme faaliyetleri öncesi PCB tasarım şeması.....	54
4.4. Kalite iyileştirme faaliyetleri öncesi kalite maliyetlerine yönelik pasta grafiği	62
4.5. Toplam Kalite Maliyetleri Eğrisi (Burnak vd.)	63
4.6. Tasarım, üretim ve kontrol süreçleri ile süreçlerde gerçekleşen hata türleri.....	63
4.7. İyileştirme faaliyeti seçimi için kurulan hiyerarşik yapı	70
4.8. Kalite iyileştirme faaliyetlerinden sonra üretimine onay verilen PCB tasarımı	75
5.1. Minitab anakütle oranlar farkı hipotez testi çıktıları	78
5.2. Minitab aşırı ısınma hata tipi için anakütle oranlar farkı hipotez testi çıktıları.....	80
5.3. İyileştirme faaliyetleri sonrası karşılaştırmalı hata sayısı grafiği	80
5.4. İyileştirme faaliyetleri öncesi Pareto grafiği	81
5.5. İyileştirme faaliyetleri sonrası Pareto grafiği	81
5.6. Kalite iyileştirme faaliyetleri öncesi kalite maliyetlerine yönelik pasta grafiği	84
5.7. İyileştirme faaliyetleri sonrası karşılaştırmalı kalite maliyetleri grafiği	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

3.1. Kalite gelişim sürecinde etkili isimler ve katkıları.....	16
3.2. Geleneksel yönetim anlayışı ile toplam kalite yönetiminin karşılaştırılması.....	18
3.3. Toplam Kalite Yönetiminde Kullanılan Yedi Temel Kalite Aracı.....	19
3.4. Şiddet Derecelendirme Tablosu (Down vd., 2008).....	34
3.5. Olasılık Değerlendirme Tablosu (Chang ve Sun, 2009).....	35
3.6. Saptanabilirlik Değer Tablosu (Down vd., 2008).....	35
3.7. RÖS Değerlendirme Tablosu (Öztürk, 2016).....	36
3.8. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	38
3.9. Saaty ikili karşılaştırma dereceleri (Saaty, 1990).....	40
3.10. Ortalama rassal tutarlılık değerleri (Saaty, 1980).....	42
3.11. Dilsel ifadelerle karşılık gelen bulanık üçgensel sayılar ve bu sayıların tersi.....	45
4.1. 2022 yılının altıncı 10.000 adetlik parti üretiminde hata tablosu.....	51
4.2. 2023 yılının birinci 10.000 adetlik parti üretiminde hata tablosu.....	52
4.3. 2023 yılının ikinci 10.000 adetlik parti üretiminde hata tablosu.....	52
4.4. Hata sebepleri ve hata kaynakları.....	53
4.5. P-01 parti üretimi döneminin önleme maliyetleri.....	56
4.6. P-01 parti üretimi döneminin ölçme ve değerlendirme maliyetleri.....	57
4.7. P-01 parti üretimi döneminin içsel başarısızlık maliyetleri.....	59
4.8. P-01 parti üretimi döneminin dışsal başarısızlık maliyetleri.....	60
4.9. Kalite iyileştirme faaliyetleri öncesi kalite maliyetlerinin özet çizelgesi.....	61
4.10. Sürece bağlı hata türleri ve hataların temel nedenleri.....	65
4.11. Olası hata türleri ve temel nedenleri.....	67
4.12. FMEA uygulaması sonucu büyükten küçüğe RÖS değerlerinin sıralaması.....	68
4.13. Karar değişkenlerine yönelik dilsel ifadelerle karşılık gelen bulanık üçgensel sayılar.....	71
4.14. Karar vericilere yöneltilen soruların değerlendirilmesi.....	71
4.15. Dilsel ifadelerin bulanık üçgensel sayılara denk gelen 4 kriterli bulanık karşılaştırma matrisi.....	72
4.16. Bulanık toplamlar matrisi.....	72
4.17. Bulanık karşılaştırma matrisinin sentetik genişletme değerleri.....	73
4.18. İkili karşılaştırmaların olasılık dereceleri.....	73
4.19. Kriterlerin ağırlık vektörünün hesaplanması.....	73
5.1. 2023 yılının üçüncü 10.000 adetlik parti üretiminde hata tablosu.....	76
5.2. İyileştirme faaliyetleri sonrası önleme maliyetleri tablosu.....	82
5.3. İyileştirme faaliyetleri sonrası ölçme ve değerlendirme maliyetleri tablosu.....	82
5.4. İyileştirme faaliyetleri sonrası içsel başarısızlık maliyetleri tablosu.....	83
5.5. İyileştirme faaliyetleri sonrası dışsal başarısızlık maliyetleri tablosu.....	83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$<$	Küçüktür
$>$	Büyüktür
$\leq$	Küçük eşit
$\geq$	Büyük eşit
λ	Lamda
Σ	Toplam
$\cap$	Kapsar

Kisaltmalar

Açıklama

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ASQC	American Society for Quality Control
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
DOE	Design of Experiment
ELECTRE	Elimination and Choice Translating Reality English
FAHP	Fuzzy Analytical Hierarchy Process
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
JIS	Japanese Industrial Standards
KFG	Kalite Fonksiyon Göçerimi
PAF	Prevention-Appraisal-Failure
PCB	Printed Circuit Board
PUKÖ	Planla-Uygula-Kontrol Et-Önle
RÖS	Risk Öncelik Sayısı
SMD	Surface Mount Device
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
TS	Türk Standartları
QFD	Quality Function Deployment

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzün rekabete dayalı mal veya hizmet üretim sistemlerinde, tarih boyunca olduğu gibi işletmelerin sürekli gelişme ve iyileştirme yükümlülüğü vardır. Bir işletmede önceden belirlenmiş kalite özelliklerine ve müşteri isteklerine en uygun şekilde üretim yapılmasını sağlamak ve hatalı üretimi büyük ölçüde engellemek, mümkünse sıfır hata yaklaşımını benimsemek, işletmenin en büyük öncelikleri arasında yer almalıdır. Ürün ve hizmet üretiminde müşterilerin ihtiyaç, istek ve beklentilerini göz önünde bulundurmeyan işletmeler, gelişen ve değişen dünyada itibar, kâr gibi birçok kayıp yaşayacaktır. Söz konusu kayıpların önlenmesi için Toplam Kalite Yönetimi (TKY)'nin gerektirdiği şekilde sistematik bir yaklaşım uygulanmalıdır. Oluşan hataları gidermek yerine oluşabilecek tüm hataların analiz edilmesi ve ürün kalitesi sürekli iyileştirilmesi anlayışı izlenmelidir. Ürün kalitesini iyileştirme çalışmalarında halihazırda sınırlı olan sermaye, zaman, işgücü gibi kaynakları en verimli şekilde kullanmak üzere daha iyiye götüren optimum çözüm aranmalıdır. Bu nedenle üretim sürecinde yüksek riskli olan süreçlerin öncelikle ele alınması, büyük ölçüde hatalı üretimi önleyecektir. Bundan dolayı, hangi iyileştirmenin yapılacağına karar vermeden önce hangi süreçlerin daha riskli olduğu analiz edilmelidir. Risklere göre süreçler sıralandığında kalite planlaması yapmak, karar mekanizması kurmak, hataların gerçekleşmesine en çok neden olan sebeplerin ortadan kaldırılmasını sağlamak mümkün olacaktır.

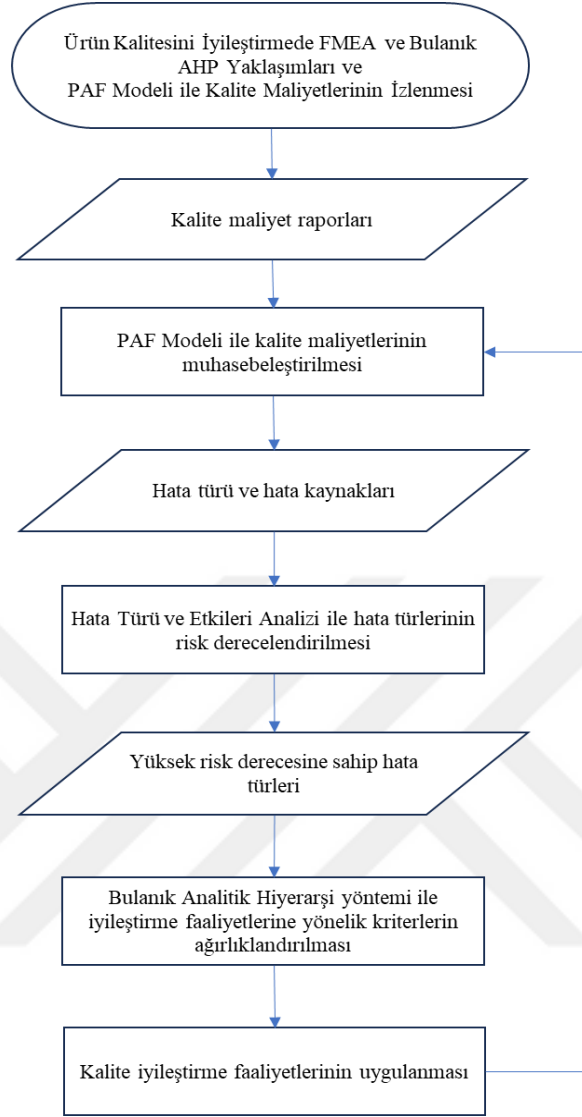
Risk değerlerinin belirlenmesinde en sık kullanılan yöntem olan Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ile hataların meydana gelme olasılıkları, saptanabilirlikleri ve etkileri değerlendirilmektedir. FMEA, işletmenin yapısına göre Sistem FMEA, Tasarım FMEA, Proses FMEA ve Servis FMEA türlerinde uygulanabilmektedir. Riskler belirlenip sıralandıktan sonra hangi risk üzerinde çalışma gerçekleştirileceğine karar verilebilmektedir fakat yapılacak iyileştirme seçenekleri birden fazla olabilir. Böyle bir durumda da yine en iyi kararı verebilmek açısından sistematik bir yaklaşım gereklidir ve birçok problemde ve sektörde kullanılabilen hiyerarşik yapıda alt kriterlerin olduğu çok amaçlı karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılabilmektedir. AHP yönteminde karar vericilerin düşüncelerinin tam sayı değerleri bakımından ifade edilememesi dezavantajından dolayı belirsizlikleri giderebilmek için

bulanık mantık kullanılarak geliştirilen Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) metodunu kullanmak daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Neredeyse tüm elektronik ürünlerde farklı amaçlarla tasarlanmış baskılı devre kartları (PCB) bulunmaktadır. Son ürün fonksiyonu, kalitesi ve maliyetinin en iyi hale getirilmesi için PCB üretim sürecinin tamamının bütünsel bakış açısıyla ele alınması gerekmektedir. Dinamik bir sektör olan elektronik sektörü, Çin'in sağladığı düşük üretim ve işçilik fiyatları tehdidi altındadır. Hem Türkiye'de rakiplerine üstünlük sağlayabilmek hem de global tedarikin müşterilere sağladığı avantajları sağlayarak rekabete katılabilmek adına kalitesini ön plana çıkarmak zorunda olan firmalar için müşteri beklentilerini çok iyi anlayarak ürün iyileştirmelerini analitik ve sistematik yapmaları ciddi önem arz etmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek adına çok paydaşlı olan bu sektörde ortak bir dil kullanarak hataların standartlaştırılması ve verilerin doğru işlenmesi gerekmektedir.

Müşteri istekleri ve ürün kalitesini beklenen düzeyde karşılarken maliyetlerin minimize edilmesi de önemli bir husustur. İstenilen kalite düzeyine ulaşırken işletmelerin kazanç sağlaması için kalite maliyet kalemlerinin analiz edilmesi, muhasebeleştirilmesi ve raporlanması gereklidir. Kalite maliyetleri, ürün veya hizmetlerin tedarik sürecinden müşteriye teslim sürecine kadar oluşan veya oluşabilecek tüm sorunların maliyetidir. Dolayısıyla kalite maliyetlerinin hesaplanması, kalitesizliğin sebep olduğu maliyetleri engellemeye yöneliktir. Farklı modeller bulunmasına ve zayıf yönlerinin olmasına rağmen kalite maliyetleri hesaplanırken literatürde en çok kabul gören Prevention-Appraisal-Failure (PAF) Modeli kullanılmaktadır. Önleme Maliyetleri, Ölçme ve Değerlendirme Maliyetleri ve Başarısızlık Maliyetleri olarak kategorilere ayrılan PAF Modeli ile Önleme ve Ölçme-Değerlendirme maliyetlerinin arttırılmasıyla başarısızlık maliyetlerinin azalacağı, dolayısıyla toplam kalite maliyetinin de azalacağı savunulmaktadır.

Çalışmada, elektronik sektöründe faaliyet gösteren bir firmada partiler halinde üretilen elektronik devre kartlarının kalitesinin iyileştirilmesi esnasında üretim sürecindeki risklerin Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ile belirlenmesi, alınacak iyileştirme kararlarının Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ile ağırlıklandırılması ve bu hibrit yaklaşımın PAF Modeli kullanılarak kalite maliyetleri üzerindeki etkisini göstermek amaçlanmıştır ve izlenecek sürecin akış diyagramı Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Tez kapsamında kullanılacak yöntemlerin akış diyagramı gösterimi

Tezin ikinci bölümünde daha önce kalite maliyetleri, PAF Modeli, FMEA ve BAHF yöntemlerini tekil veya birlikte kullanarak gerçekleştirilmiş çalışmaların özetine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde kaliteye genel bir bakış sağlayabilmek açısından kalitenin tanımları ve tarihçesiyle birlikte Toplam Kalite Yönetimi hakkında bilgi verilmiş, çalışmada kullanılan kalite maliyet modelleri, Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde işletmenin tanıtımı ve üretim sürecinin işleyişinden bahsedilmiş, elde edilen veriler paylaşılmış ve kullanılan yöntemlerin aşamaları anlatılmıştır. Beşinci bölümde işletmeye ait verilerden elde edilen bulgular paylaşılmış ve altıncı bölümde ise tezin sonucuyla birlikte sonraki çalışmalara yön gösterebilmesi adına önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis / Hata Türü ve Etkileri Analizi), Bulanık AHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process / Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci) ve PAF (Prevention-Appriasal-Failure / Önleme-Değerlendirme-Başarısızlık) Modeli yöntemleri bugüne kadar birçok farklı alanda gerçekleştirilen çalışmalarda ayrı ayrı, birlikte veya farklı yöntemlerin kombinasyonu ile kullanılmıştır. Bu çalışmada temel olarak ürün kalitesini iyileştirmede FMEA ve Bulanık AHP yaklaşımlarına ek olarak kalite maliyetleri PAF Modeli ile inceleneceğinden, belirtilen yöntemlerin birlikte veya ayrı kullanıldığı çalışmalar ile ilgili bilgi verilmiştir.

Literatür taraması yapıldığında FMEA yönteminin en çok;

- Uzay ve havacılık, kimya, otomotiv sanayileri
- Sistem tasarımı
- Üretim ve montaj süreçleri
- Müşteri hizmetleri
- İş sağlığı ve güvenliği alanlarında kullanıldığı söylenebilir.

Genel olarak AHP incelendiğinde ise genellikle;

- Lojistik yönetimi
- Kaynak planlama
- Üretim yönetimi
- Toplam kalite yönetimi alanlarında çalışmalar yoğunlaşmıştır.

2.1. AHP ve FMEA Yöntemlerini Ayrı Ele Alan Çalışmalar

Literatür taraması sonucu AHP ve FMEA yöntemlerinin ayrı ayrı kullanarak gerçekleştirilen bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir. Çalışmalarda genellikle belirtilen yöntem türevleri aynı problem üzerinde uygulanmış veya birkaç yöntem entegre edilmiştir.

➤ Ginn vd. (1998), Kalite Fonksiyon Konuşlanması (Quality Function Deployment) ile FMEA modeli konularını karşılaştırmalı olarak ele almış ve iki modelin ürün geliştirme

döngüsündeki etkilerini gözlemlemiştir Çalışmada, otomotiv sektöründeki kalite ve kaynakları, iki yöntemin birlikte uygulanmasıyla yorumlanmıştır.

➤ Badri (2001), gerçekleştirdiği çalışmada bir hizmet endüstrisinde kalite kontrol sistemleri üzerinde amaç programlamayı ve AHP'yi beraber kullanmış ve bu yöntemlerin entegrasi olan bir model geliştirmiştir. Çalışma sonucunda optimal hizmet kalite kalitesi için bir karar yöntemi elde edilmiştir.

➤ Tam ve Tummala (2001), telekomünikasyon endüstrisinde tedarikçi seçimi problemine yönelik AHP uygulamış, tedarikçi seçim sürecinin sistematik olabileceği ve karar verme süresinin azaltılabileceğini ifade etmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen uygulamanın farklı kriterler ele alındığında diğer sektörler için de uygulanabilir bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir.

➤ Eryürek ve Tanyaş (2003), FMEA yönteminde hataların maliyetleri ve bu hataları önleme amacıyla alternatifler ve bu seçeneklerin maliyetleri ele alınarak karar verme aşamasını daha matematiksel bir temele indirgemıştır. Karar verme sürecinde Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ve gerekli bazı durumlarda ELECTRE yönteminin birlikte kullanılması kullanılması önerilmektedir.

➤ Dağdeviren vd. (2004), elektrik sektöründe iş değerlendirme üzerinde AHP yöntemini kullanarak bu sürecin faktörlerinin ağırlıklandırılıp sıralanmasını sağlayarak sistematik bir iş değerlendirme süreci tanımlamışlardır.

➤ Elitaş ve Eleren (2007), yaptıkları uygulamada hedef maliyet çizgisinin sürdürülmesi amacıyla FMEA yöntemi uygulamıştır. Çalışma sonucu analizlerinde örnek bir firma için maliyetlerin artmasına sebep olan risk faktörleri belirlenmekte ve önem derecesine göre sıralanarak çözüme kavuşturulması sağlanmaktadır.

➤ Lin vd. (2008) Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerini bütünleşik olarak müşteri odaklı ürün tasarımında kullanmayı hedeflemiştir. Çalışmalarında müşteri isteklerinin önem derecelerini AHP yöntemiyle ağırlıklandırmış ve TOPSIS yöntemiyle tasarımda en iyi alternatifi seçme yaklaşımı izlenmiştir.

➤ Korkmaz (2010), FMEA'nın kalite anlayışındaki önemini ve yerini vurgulayarak otomotiv yan sanayiinde yer alan bir işletmede pitman kolu üretimini ele almış ve üretim için bir proses FMEA uygulaması gerçekleştirmiş ve alınan önlemler sonucunda hatalarda önemli ölçüde iyileştirme sağladığını sunmuştur.

➤ Taş (2010), bir mobilya üretimi yapan bir işletmede FMEA yöntemi uygulamış ve uygulamanın öncesi ile sonrası durumunu karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucu; hata türlerinde, şiddet, sayı ve olasılık olarak 1 ile 6 oranında azalma gerçekleşmiş, işletmede kalite sistemi ve güvencesinin sağlanmasına yönelik önemli bir ilerleme kaydedilmiş ve kalitesizlik maliyetlerinin düşürülmesi sağlanmıştır.

➤ Mayyas (2011) otomotiv sektöründe gerçekleştirdikleri çalışmada, malzeme seçiminde AHP ve QFD yaklaşımlarını kullanmışlardır. Müşteri ihtiyaçlarını belirlemede QFD'nin, kriterleri önceliklendirme ve sıralama konusunda AHP'nin güçlü yönlerini ortaya koymuşlardır.

➤ Yörükoğlu (2014), yenilenebilir enerji kaynakları sektöründe meydana gelebilecek risklerin tespit edilmesi, risklerin giderilmesi veya azaltılması amacıyla, FMEA ve Bulanık FMEA tekniklerini kullanarak risk analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu iki tekniğin birlikte kullanılarak elde edildiği sonuçlara göre oluşan risklerin karşılaştırılması sağlanmıştır.

➤ Aras (2016), ileri ürün kalite planlaması amacıyla otomotiv sektöründe gerçekleştirdiği çalışmada Kalite Evi yapısını oluşturabilmek adına ilk aşamada müşteri ihtiyaçlarını tespit etme ve belirleme konusunda AHP yönteminin kullanılmasının müşteri memnuniyetini arttıracak sonuçlar getireceğini savunmuştur.

➤ Shaygan (2016), bir hastanede randevu sisteminde karşılaşılan sorunların tespiti ve çözümü için balık kılçığı diyagramı ve Bulanık AHP yaklaşımı önermiştir. Soruna neden olan faktörler, uzman grup yardımıyla belirlenmiş ve balık kılçığı diyagramı oluşturulmuştur. Problem çözümü için gerçekleştirilecek projelerin önceliklendirilmesi amacıyla bulanık AHP yöntemi kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve en yüksek ağırlığa sahip sorunun tespit edilmesi sağlanmıştır.

➤ Shieh vd. (2017) hedef programlama ve bulanık AHP kullanarak optimum ürün tasarımı gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Yerel optimum çözümlerin elde edilmesinden sonra bulanık AHP ile en uygun tasarımın belirlenmesi sağlanmıştır.

➤ Yazdi vd. (2017), uçak iniş sisteminde gerçekleşebilecek hataları değerlendirmede ve iyileştirilmesinde FMEA ve Bulanık FMEA yöntemlerinden yararlanılmışlar ve karşılaştırma sonuçlarını sunmuşlardır.

➤ Aydın (2018), birden fazla proje arasında seçim yapılmasını gerektiren çalışmada bilişim sektöründe uzman kişilerce kriter ve alt kriterlerin tespit edilmesini sağlamış, üç proje arasında kriterlerin ağırlıklandırılması ve seçim yapılabilmesi için Bulanık AHP yöntemi uygulamıştır.

➤ Toklu vd. (2019), bir otomotiv işletmesinde Kaizen öneri sistemini değerlendirme amacıyla belirlenen değerlendirme kriterlerini önceliklendirmede Bulanık AHP, değerlendirme ve sıralamada Bulanık WASPAS yaklaşımlarını kullanmıştır. Çalışma sonucuna göre tampon hazırlık sürecinde yaşanan verimsizliğin iyileştirilmesi, öncelik verilmesi gereken iyileştirme önerisi olarak ortaya konmuştur.

➤ Turan ve Ocaktan (2019), transformatör üretimi gerçekleştiren bir firmanın proseslerinde meydana gelebilecek hataların tespit edilmesi, önlemlerin alınması ve firmanın güvenilirliğinin artırılması amacıyla klasik FMEA’da kullanılan Tasarım ve Proses FMEA ile iyileştirilmesi gereken hatalar belirlemişler, değerlendirmenin öznel olması nedeniyle riskleri önceliklendirmek için FMEA yöntemini bulanık mantık yaklaşımıyla ele almışlardır. Çalışma sonucunda hataların risk öncelikleri değerlendirilmiş ve uygulanan yöntemin gerçeğe daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

➤ Özen (2020), otomotiv yan sanayii sektöründe tedarikçi seçimi konusunu ele almıştır. Çalışmada sektöre uyumlu beş ana kriteri belirlemiş ve uzman grup kurularak karar vermede AHP, Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak tedarikçi seçimini gerçekleştirmiştir.

2.2. AHP ve FMEA Yöntemlerini Birlikte Ele Alan Çalışmalar

AHP ve FMEA yöntemlerinin beraber kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalarda genellikle belirtilen yöntem türevlerinin aynı problem üzerinde uygulanması veya birkaç yöntemin entegre edilmesi şeklinde yaklaşımlar izlenmiştir.

➤ Erginel (2004), çalışmasında mekanik termostat parçalarında müşteri beklentilerini kriter olarak AHP ile önceliklendirmiş ve önceliklendirilen parçalara ait verilerde tasarım FMEA uygulamıştır. Çalışma sonucunda hata türleri sayısında azalma tespit edilmiştir.

➤ Güner (2005), tedarikçi değerlendirme seçim problemini bir mermer-traverten işletmesinde ele almıştır. Problemin çözümünde AHP ve Bulanık AHP yöntemlerini karşılaştırmalı kullanmıştır. Sonuçlar, iki yöntemin de en uygun tedarikçi seçeneği olarak aynı tedarikçiyi seçtiği belirtilmiştir.

➤ Yörür (2005), bir mermer fabrikasındaki üretim sürecinde süreçlerin önceliklendirilmesini AHP yöntemiyle gerçekleştirmiştir. Hataların tespit edilmesinin ardından, hataların oluşturabileceği etkileri ve nedenleri öne çıkarılmış ve oranı yüksek seyreden hataları minimuma indirmek için önerilerde bulunulmuştur.

➤ Su ve Chou (2008), çalışmasında bir işletmede altı sigma projesi seçim problemi için risk değerlendirmesi uygulamasında AHP ile her projenin ağırlığı hesaplanmış ve risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, projelerin ağırlıkları ile çarpılarak her projenin toplam riski hesaplanmış ve işletmeye, seçim için karar desteği oluşturulmuştur.

➤ Sachdeva vd. (2008), kâğıt endüstrisindeki bir işletmede bir parçanın veya alt sistemin hatası ve bakımı ile ilgili karar stratejileri geliştirmek için farklı faktörlerin kritikliklerini birleştiren FMEA ile AHP yöntemini birlikte kullanmıştır.

➤ Sofyalıoğlu ve Öztürk (2012), tasarım FMEA uygulamasında hata türlerini önceliklendirme amacıyla kullanılabilecek üç metodu karşılaştırmıştır. Geleneksel FMEA, Gri İlişki Analizi ve Bulanık AHP yöntemlerinin kullanılması sonucu Gri İlişki Analizi ve

Bulanık AHP'nin birlikte kullanılmasının klasik FMEA yaklaşımının bazı sakıncalarını giderebildiğini öne sürmüşlerdir.

➤ Ilangkuraman vd. (2014), çalışmada bakım personelinin kâğıt endüstrisindeki kritik bileşenlerin risk önceliğini değerlendirmesine ve zamanında bakım sağlamasına yardımcı olmak için FMEA ve bulanık AHP'ye dayalı bir değerlendirme modeli geliştirmektedir. Geleneksel FMEA faktörlerin göreceli önemini dikkate almadığından BAHP, karar faktörlerinin göreceli ağırlıklarını hesaplamak için kullanılmıştır.

➤ Gülçiçek (2014), çalışmada plastik ambalaj üretimi gerçekleştiren bir işletmede KFG analizi ve bulanık mantık yaklaşımlarını birlikte kullanmıştır. Müşteri ihtiyaçlarının üçgensel bulanık sayılar kullanılarak ilişki diyagram matrisinde bulanık KFG sonuçları elde edilmiştir. Müşteri ihtiyaçlarının karşılanamaması halinde ise işletmeyi bekleyen riskleri, ortaya çıkabilecek hata türlerini tespit edebilmek için, bulanık AHP ile bütünleştirilmiş FMEA kullanılmıştır.

➤ Manap Davras ve Karaatlı (2014), otel işletmelerinde tedarikçilerin seçimi konusunda belirledikleri kriterlere yönelik AHP ve Bulanık AHP yöntemlerini uygulamışlar ve yöntemlerin karşılaştırılmalı sonuçlarını paylaşmışlardır.

➤ Özfiat (2014), bir kömür madeninde iş kazalarını önlemeye yönelik geleneksel FMEA yöntemindeki olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik kriterlerini bulanık AHP yöntemini entegre ederek uygulamıştır. Çalışma sonucunda belirlenen riskler için proaktif ve reaktif önlemler belirlenmiş ve RÖS değeri kabul edilebilir seviyeye düşürülmüştür.

➤ Şişman (2017), otomotiv sektöründe risk değerlendirmesi gerçekleştirdiği çalışmada hata türü ve etkilerinin analizinde Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR yöntemlerini entegre ederek kullanmıştır. Risk faktörlerinin önem ağırlıkları Bulanık AHP ile belirlenmiş, hata türlerinin risk önceliği ise Bulanık VIKOR ile tespit edilmiştir.

➤ Bayar (2020), İstanbul Boğazı bölgesinde bugüne kadar yaşanmış kazaların meydana gelme nedenlerini ele almış, Bulanık AHP ve FMEA yöntemleri ile Boğaz trafiği risklerini analiz etmiş ve tespit edilen risklerin oluşturabileceği tehlikelerin ve olası kazaların önlenmesi için elimine edilmesi gereken nedenleri belirlemiştir.

➤ Hassan vd. (2020), çalışmasında depoda meydana gelebilecek olası süreç hatalarını belirlemeyi ve azaltmayı amaçlamış ve bulanık AHP ile birleştirilmiş risk analizi yöntemi FMEA'yı kullanmıştır. Tasarım FMEA, tasarımda verimsizliğe neden olan hata türü üzerinde önemli bir noktaya sahipken, bulanık AHP ağırlıklandırma sürecinde öznelliği azaltmak için kullanılmıştır.

➤ Karatop vd. (2020), Türkiye’de hidroelektrik, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji olmak üzere beş yenilenebilir enerji alternatifi dikkate almış ve Bulanık AHP kullanılarak yenilenebilir enerji alternatiflerinin önem ağırlıklarını tespit etmiş ve önceliklendirmiştir. Daha sonra bulanık FMEA ile yenilenebilir enerji alternatiflerinin riskleri tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde, Türkiye'nin yenilenebilir enerji yatırımlarında hidroelektrik ve rüzgâr enerjisine ağırlık vermesi gerektiği açıkça görülmüştür.

➤ Onat (2020), perakende sektöründe gerçekleştirmiş olduğu çalışmada beş ana kriter, on beş alt kriter ve dört karar verici ile tedarikçi seçim problemi ele almıştır. Karar vericilerin sözel ifadesi değerlendirilerek bulanık yamuk sayılar kullanılmıştır. Problemden Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri birlikte kullanılmıştır.

2.3. PAF Modeli’ni Ele Alan Çalışmalar

Yönetimsel kararlarda kalite maliyetlerinin sınıflandırılması için en etkin kullanılan yöntem PAF modelidir. PAF modeli kullanan bazı çalışmalar, kalite maliyetlerinin izlenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

➤ Omachonu vd. (2004), kalite maliyetinin bileşenlerini (iç başarısızlık, dış başarısızlık, önleme ve ölçme-değerlendirme maliyeti) malzemeler ve makineler bağlamında incelemiştir ve bir üretim ortamında kaliteyi etkileyen değişkenleri analiz etmeyi amaçlamıştır. Araştırma bulgularına göre, önleme ve ölçme-değerlendirme maliyeti ile başarısızlık maliyeti arasında negatif yönlü bir ilişki vardır. Önleme ve ölçme-değerlendirme maliyeti ile kalite arasında pozitif bir ilişki vardır ve başarısızlık maliyeti kalite ile negatif ilişkilidir. Sonuçlar, önleme ve ölçme-değerlendirme maliyeti arttıkça kalitenin arttığını ve başarısızlık maliyetinin düştüğünü göstermektedir.

➤ Alıcı (2007), tekstil sektöründe faaliyet göstermekte olan iki işletmede kalite maliyetlerinin analizini PAF modeli aracılığıyla gerçekleştirmiş ve çalışma sonucunda kalite maliyetlerini PAF modelinin daha doğru tespit edebildiğini ortaya koymuştur.

➤ Akkoyun ve Ankara (2009), mermer işleme tesisinde oluşan kalite maliyetlerinin belirlenmesi, sınıflandırılması ve ölçülmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Kalite maliyetlerini tanımlamak ve sınıflandırmak için PAF modeli tanımlanmış ve uygulanmıştır. Ayrıca mermer fabrikalarında oluşan maliyetleri belirlemek, sınıflandırmak, hesaplamak ve kontrol etmek için kullanılabilecek yeni bir bilgisayar programı tanıtılmıştır.

➤ Salık (2014), çalışmasında bir sağlık işletmesinde kalite maliyet unsurlarını belirlemiş ve PAF modeli ile muhasebeleştirmiştir. İşletmedeki kalite maliyetlerinin toplam maliyetler içerisindeki oranı tespit edilmiştir. Sağlık işletmesinde görülen kalite maliyetleri ve PAF modelindeki maliyetler arasında bir ilişki kurulmuş ve sağlık sektöründe de kalite maliyetlerinin muhasebeleştirilmesinin önemini vurgulamıştır.

➤ Bozdemir ve Ulu (2017), bir otomotiv yan sanayi işletmesinde kalite maliyetlerine ilişkin bileşenleri PAF modeli çerçevesinde incelemiştir. Çalışma sonucunda içsel ve dışsal başarısızlık maliyetlerinin kalite maliyetleri arasında yüksek bir orana sahip olduğu tespit edilmiş ve önleme, ölçme ve değerlendirme maliyetlerinin gözden geçirilmesini tavsiye etmiştir.

➤ Kaygusuz (2017), çalışmasında medikal parçaların üretimini yapan bir işletmede kalite maliyetlerini PAF modeli çerçevesinde incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada yöntem olarak çalışmanın uygulanış şekline uygun olması ve detaylı analiz imkânı tanınması bakımından olay çalışması tercih edilmiştir ve sonucunda önleme ve değerlendirme maliyetlerine yapılacak yatırımlar ile başarısızlık maliyetlerinin azaltıldığı tespit edilmiştir.

➤ Çil ve Ağ (2019), bir doğal taş destek merkezinde, kalite maliyetlerini PAF modeline göre incelemiş ve kalite maliyetlerinin muhasebeleştirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmanın sonucunda doğal taş merkezinde önleme maliyetlerinin diğer maliyetlere göre daha yüksek olduğu ve destek merkezinin yeni kurulmuş olması nedeniyle başarısızlık maliyetlerinin görece daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Literatüre katkı sağlayan yukarıda yer alan çalışmalarda görülebileceği üzere Bulanık AHP, FMEA ve PAF Modeli yöntemleri tekil olarak, birlikte veya farklı yöntemler dahilinde birçok çalışmada kullanılmış ve uygulanmıştır. AHP ve FMEA yöntemleri kullanılan çalışmalarda genellikle bir problem üzerinde iki yöntemin ayrı ayrı uygulanması ve çıkan sonuçların karşılaştırması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Çok az sayıda çalışmada Bulanık AHP ve FMEA yöntemlerinin birlikte kullanıldığı görülmektedir. Bulanık AHP, FMEA ve PAF Modeli yaklaşımlarının tamamının birlikte uygulandığı çalışmaya ise rastlanmamıştır. Elektronik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede yürütülen bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan temel farkı, bir kalite iyileştirme probleminde, yapılacak iyileştirme faaliyetlerinin FMEA ve Bulanık AHP yöntemleri ile önceliklendirilerek karar verilmesine ek olarak yapılan iyileştirmelerin sonucunda kalite maliyetleri üzerine etkisinin PAF Modeli ile izlenmesidir. Çalışma kapsamında kullanılan bu hibrit yaklaşım, elektronik sektöründen farklı olarak diğer üretim veya hizmet alanlarında kalite iyileştirme problemlerinde uygulanabilecek ve FMEA ile Bulanık AHP yöntemlerinin uygulanması sonucu alınan kararların kalite maliyetleri üzerine etkisini analiz ederek karar verme mekanizmasının sistematik bir hale getirilmesini ve kalitenin sürdürülebilirliğinin devamını sağlayacaktır.

3. TEORİK BİLGİ

Bu bölümde kalite kavramının öneminin anlaşılabilmesi için genel bir bilgi verilmiş, izleyen kısımlarda ise tez kapsamında kullanılan kalite maliyet modellerinden PAF modeli, FMEA ve Bulanık AHP yöntemleri hakkında gerekli açıklamalar yapılmıştır.

3.1. Kaliteye Genel Bakış

Kalite, insanlık var oldukça her dönemde farklı bakış açılarıyla var olmuştur. Tarih boyunca kalitenin farklı tanımları, kalitenin algılanma ve uygulanma biçimleri ile birlikte tarihçesi ve Toplam Kalite Yönetimi hakkında genel bilgilere izleyen kısımda yer verilmiştir.

3.1.1. Kalite kavramı ve tanımları

İnsanlık, tarihin her döneminde sürekli daha iyiyi gerçekleştirmeye yönelmiştir. Yeni buluşlar ve devrimlerin getirdiği şartlarla birlikte gelişen ve globalleşen dünyada eski zamanlardan beri ürün ve hizmetin özelliklerinin yanı sıra kalite kavramı giderek önem kazanmıştır. İşletmelerin birbirine üstünlük kurabilmesi ve piyasada rekabete girebilmesi için kalite, sürekli geliştirilmesi gereken bir araçtır.

Kalitenin tanımı, tarih boyunca kişilere ve kurumlara göre değişkenlik göstermektedir. Kalite kavramı aslen, “nasıl oluştuğu” anlamına gelen Latince “qualis” kelimesinden gelse de günümüzde “nasıl oluştuğu”ndan ziyade “nasıl ve hangi ölçüde kaliteli olduğu” düşüncesi geliştirilmeye başlanmıştır (Şimşek, 1998). Kalitenin ilk benimsenme dönemlerinde en yaygın bilinen tanımı, standartlara veya kullanıma uygunluk olarak ifade edilse de günümüzde kalite; müşteri isteklerini önceden tahmin ederek, müşteri beklentilerini karşılamak ve ötesine geçmek, ürünün doğal yaşamı boyunca müşteriye memnun etmek olarak tanımlanmaktadır (Yamak, 1998).

Kalite ile ilgili yapılan diğer bazı tanımlar şunlardır:

- Kalite, kullanıma uygunluktur (Juran, 1992).
- Kalite, müşterinin şimdiki ve gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamayı hedeflemelidir (Deming, 1986).
- Kalite, müşteri beklentilerini karşılayacak ürün ve hizmetin pazarlama, mühendislik, imalat ve bakım aşamalarındaki karakteristiklerinin toplam bir karmasıdır (Feigenbaum, 1991).
- Kalite, bir ürünün gerekliliklere uygunluk derecesidir (Crosby).
- Kalite, eksiklerden kaçınmaktır (Taguchi, Ross).
- Kalite, ürün ya da hizmeti ekonomik bir yoldan üreten ve tüketici isteklerine cevap veren bir üretim sistemidir (JIS, Japon Sanayi Standartlar Komitesi).
- Kalite bir mal ya da hizmetin belirli bir gereksinimi karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerinin tümüdür (ASQC, American Society of Quality Control).
- Kalite bir mal ya da hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetine dayanan, özelliklerin toplamıdır (TS ISO9001).
- Kalite, önlem almaktır.
- Kalite, müşteriye tatmin etmektir.
- Kalite, verimliliktir.
- Kalite, esnekliktir.
- Kalite, sürekli iyileştirmedir.
- Kalite, markadır.
- Kalite, bir yaşam tarzıdır.

3.1.2. Kalitenin tarihçesi

Kalitenin geçmişi ile ilgili ilk kayıtlar, MÖ 2150 yılına kadar uzanır. Ünlü Hammurabi Kanunları'nın 229. maddesinde: "Eğer bir inşaat ustası bir ev yapar ve yapılan ev yeterince sağlam olmayıp sahibinin üstüne çökerek ölümüne sebep olursa, o inşaat ustasının başı uçurulur." ifadesi yer almaktadır (Küçük, 2004). Kalite konusunda ilk zamanlarda genellikle üretim süreçlerini düzeltmek ve kontrol altına almaktan çok, ne kadar hatalı ürün üretildiği ile ilgilenilmiştir. Endüstri Devrimi, II. Dünya Savaşı etkileri, istatistiksel yaklaşımın benimsenmesi, teknolojik gelişmelerin sistemlere entegrasyonu gibi

faktörler ile birlikte kalite, sürekli gelişme göstermiştir ve günümüzde bütünsel bakış açısıyla incelenmekte ve uygulanmaktadır. 1930 yıllarında kalite, Henry Ford tarafından “iyinin kötünden ayrılması” şeklinde tanımlanmış ve ele alınmıştır. 1940'lı yıllarda kalite kontrol sürecinde istatistiksel yöntemler kullanılmış, 1950'li yıllarda ise kalite kontrol bir bireyin veya bir grubun sorumluluğuna bırakılmaya başlanmıştır (Bek, 2008). Kalitenin tarihsel gelişimi genellikle dört adımda incelenmektedir:

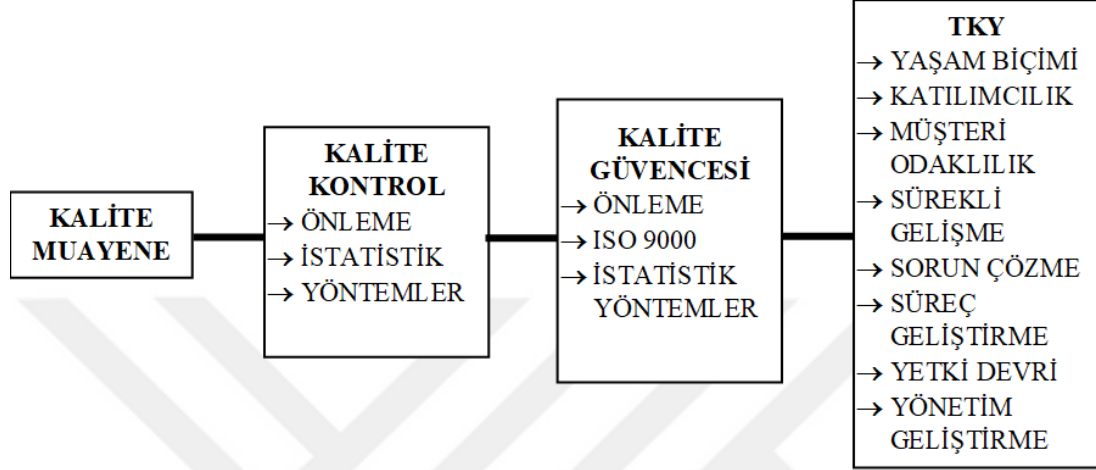
3.1.2.1. Muayene: Sanayi devriminin başlangıç zamanlarından 1920'li yıllara değin işletmelerde üretimi yapılan ürünlerin kontrolü, hata bulma yaklaşımı ile gerçekleştirilmiş, üretimden sonra gerçekleştirilen muayene işlemi ekstra maliyet gibi birçok olumsuzluğu beraberinde getirmiştir. Müşteriyi koruyan fakat üreticiyi zarara uğratan bu uygulamayı düzenlemek için kalite kontrol sistemine geçilmiştir.

3.1.2.2. Kalite kontrol: Teknolojik gelişmeler, üretim kapasitelerinin artması ile muayene yöntemi yetersiz kalmış ve yeni arayışlara girilmiştir. 1920'li yıllardan itibaren muayene işlemi son kalite kontrol faaliyetinden ara kontrol noktalarına ve giriş kalite kontrolüne kadar genişletilmiştir. Bu dönem istatistiksel kalite kontrol dönemi olarak da isimlendirilmektedir. İstatistiğin daha yaygın kullanımı ile kabul örnekleme için yapılan çalışmalar bu dönemde gerçekleşmiştir. Önceden belirlenen standartlar çerçevesinde ürünün tasarımından teslimine kadar ulaşılan kalite düzeyini sürdürmek ve geliştirmek hedeflenmiştir.

3.1.2.3. Kalite güvence: Parti bazında kabul veya reddetme sisteminin en iyi sistem olmadığı inancı gelişmeye başlarken, 1960-1980 yılları arasında kalitenin imalatla bütünleşmeye başlaması ile üretim esnasında kontrol benimsenmeye başlanmıştır. Kalite güvence, ürün veya hizmetin daha önce belirlenen özellikleri karşılamada gerekli güveni sağlayan planlı ve sistematik çalışmaların toplamı olarak tanımlanmış ve bunları koruyan kural ve politikaları önemsemiştir.

3.1.2.4. Toplam Kalite Yönetimi: Üretim süreçlerinin daha da karmaşılaşması, rekabet koşullarının değişmesi ve tüketicilerin yapısının değişmesi gibi nedenler, kalitede yenilenmiş bir bakış açısı gerektirmiştir. Bunun sonucunda "Toplam Kalite Kontrolü" felsefesi hayata geçmeye başlamış ve günümüzdeki kalite anlayışı ve kalite kontrolün yalnızca üretim ile ilgili bölümlerin değil tüm işletmenin unsurlarını ilgilendiren bir kavram

olan "Toplam Kalite Yönetimi" anlayışına evrilmiş ve müşterilerin ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılamayı, maliyetleri azaltmayı, birimlerin koordine çalışarak hataları gerçekleşmeden çözmeyi hedefleyen dinamik bir sistem ve felsefe haline gelmiştir (Taşçı ve Çabuk, 2013). Kalite anlayışının geçmişten günümüze aşamaları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kalite anlayışının gelişimi (Türkmen, 1996)

Kalitenin kat etmiş olduğu bu süreçte kalite anlayışının gelişiminde rol oynamış bazı önemli isimler ve sağladıkları katkılar, Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kalite gelişim sürecinde etkili isimler ve katkıları

İSİM	YAPTIĞI KATKI
Walter A. Shewart	İstatiksel Kalite Kontrol, PUKÖ Döngüsü
Deming	Sürekli Gelişim Yönetimi İçin Deming’in 14 İlkesi
Crosby	Sıfır Hata Yaklaşımı
Armand Vallin Feigenbaum	Toplam Kalite Yönetimi ve Maliyet Yönetimi
Kaoru Ishikawa	Balık Kılçığı Diyagramı, 7 Kalite Aracı, Kalite Çemberleri
Joseph Juran	Juran Üçlüsü, Kalitenin El Kitabı
Taguchi	Kalite Kayıp Fonksiyonu, DOE
Akao	Kalite Fonksiyonu Yayılımı, Hoshin kanri
Motorola	6 Sigma

3.1.3. Toplam Kalite Yönetimi

Üretim süreçlerinin giderek karmaşıklaşması, yapısal organizasyonların genişlemesi, global rekabet hedefleri, müşteri istek ve ihtiyaçlarının değişmesi ile kaliteyi bütüncül bir yaklaşımla ele alma zorunluluğu doğmuştur. Toplam Kalite Yönetimi (TKY) kavramı, 1961'de Feigenbaum tarafından ilk kez kullanılmaya başlanmış ve klasik yönetim anlayışının yerine günümüzdeki modern etkin yönetim anlayışı haline gelmiştir. Miyauchi'ye göre Toplam Kalite Yönetimi, bir işletme içinde kaliteyi odak alan, işletmenin tüm bireylerinin katılımına dayanan ve müşteri memnuniyetini sağlama ile uzun vadeli başarı sağlamayı amaçlayan ve işletmenin bütün bireylerine ve topluma fayda sağlayan yönetim yaklaşımıdır. Tüm firma çalışanlarının katılımı, yapılan işlerin bütün yönetimi, tüm müşteriler, tüm üretilen ürünleri kapsadığından toplam; yönetimin her konuda çalışanlara liderlik yapması bakımından yönetim bileşenlerini temsil etmektedir.

TKY, kalite olgusunu, firmada çalışan tüm birimlere yayan ve bireylerin bundan sorumlu olmasını sağlayan bir sistem olarak günümüze gelmiştir. TKY, doğru bir şekilde üretimi ilk seferinde gerçekleştirmeyi ve bunu her seferinde tekrarlayarak kuruluşun bir bütün şeklinde etkinliğini sağlamayı, rekabet gücünü arttırmayı ve esnekliğe ulaşmasını amaçlayan bir yöntemdir (Peker, 1993).

TKY'nin esas amaçlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Müşteri isteklerinin tatmin edici şekilde gerçekleştirilmesi ve oluşabilecek şikayetlerin/hataların meydana gelmeden ortadan kaldırılması
- Sürecin sürekli izlenerek örgütsel faaliyetlere aktarılması ve organizasyonel yapının tümünün kalite sürecine dahil edilmesi
- Savurganlıkları ve hataları önleme ile maliyetlerin azaltılması ve kaynakların verimli kullanılmasını sağlama
- Süreç verimliliği ve kalitesini etkin şekilde artırma (Küçük, 2010).

Geleneksel kalite yönetimi ve toplam kalite yönetimi anlayışlarının karşılaştırılması Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Bu karşılaştırma ile toplam kalite yönetiminin geleneksel yönetime karşın sağladığı avantajlar açıkça görülebilmektedir.

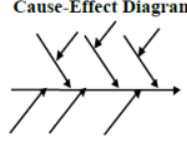
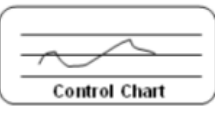
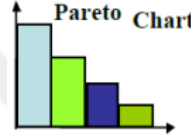
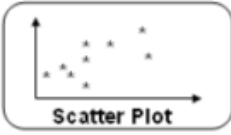
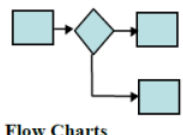
Çizelge 3.2. Geleneksel yönetim anlayışı ile toplam kalite yönetiminin karşılaştırılması
(Kavrakoğlu, 1998)

Geleneksel Yaklaşım	TKY
Muayeneye dayalı kalite	Önemeye dayalı kalite
Yüksek kalite ile artan maliyet	Yüksek kalite ile düşen maliyet
Optimum stok	Sıfır stok
Spesifikasyon limitleri arası üretim	Hedef değerde üretim
Sorunlar çıktıkça çözüm geliştiren yönetim	Olası sorunları düşünüp bunları önleyen yönetim
Kabul edilebilir hata düzeyini hedefleyen üretim	Sıfır hatayı hedefleyen üretim
Hiyerarşiye dayalı öncelikler	Müşteri tatminine dayalı öncelikler
Ödül ve cezaya dayalı motivasyon	Onurlu çalışmaya ve bunun takdir edilmesine dayalı motivasyon
Rekabete dayalı tedarik sistemi	Karşılıklı anlayış ve güvene dayalı tedarik sistemi
Kar maksimizasyonunu hedefleyen güdülenme	Performansı geliştirmeyi hedefleyen güdülenme
Ulusal/Uluslararası standartlara göre ürün kalitesi	Müşteri ihtiyaçlarına cevap veren ürün kalitesi
Tecrübe ve inisiyatife dayalı yönetim kararları	İstatistik ve kantitatif analizlere dayalı yönetim kararları

3.1.3.1. Toplam kalite yönetiminde kullanılan temel araçlar

Toplam kalite yönetimi felsefesinin hedeflerine ulaşabilmesi için bazı kalite araçları kullanılmaktadır. Bu kalite araçlarından yedi tanesi geleneksel olarak kullanılan metotlar olmuştur. Bunlar: Akış diyagramı, pareto diyagramı, balık kılçığı diyagramı, planlama-yapma-inceleme-düzeltilme döngüsü, dağılım diyagramı, kontrol grafikleri ve histogramdır (Mahiroğlu ve Buluç, 1999). Kalitenin yedi aracı olarak isimlendirilen bu araçlar, üretim veya hizmet sürecinde meydana gelen veya gelebilecek problemlerin; tespit edilmesine ve çözülmesine yönelik bilgi ve veri üretimini sağlamak, süreç analizini kolaylaştırmak ve sistematik yaklaşımla elde edilen veri ve bilgileri analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. Kalite araçları ürün/hizmet üretiminde başlıca planlama ve üretim faaliyetlerinde kullanıldığı gibi farklı alanlarda da kullanılabilir. Çizelge 3.3.'te yedi temel kalite aracının kısaca tanımları ve gösterimleri derlenmiştir.

Çizelge 3.3. Toplam Kalite Yönetiminde Kullanılan Yedi Temel Kalite Aracı

Adı	Tanımı	Gösterimi
Balık kılçığı diyagramı	Sebep-sonuç diyagramları ile bir problem için genel sebeplerden yola çıkılarak detaya gidilir ve sonuca etki eden sebepleri doğru belirlemek ve sınıflandırılmasını sağlar.	
Kontrol çizelgesi	Kontrol maddeleri şeklinde düzenlenerek her bir maddenin ne sıklıkta görüldüğü çizelgeler üzerinde gözlenebilmesini sağlar.	
Kontrol diyagramı	Bir süreçteki incelenen kalite karakteristiği için normal olmayan değişiklikleri belirlemeye ve önlemeye yarayan kalite aracıdır.	
Histogram	Elde edilen verilerin dağılımlarını basit bir istatistiksel diyagram yoluyla görselleştirilmesini sağlayan bir kalite aracıdır.	
Pareto diyagramı	Bir problemin önemli sebeplerini daha az öneme sahip olan sebeplerden ayırt etmekte kullanılan bir çubuk diyagramıdır.	
Serpilme diyagramı	İlişkisi olduğu düşünülen iki değişken için neyin, neyi, nasıl etkilediğinin görülmesini sağlayan diyagramlardır.	
Akış diyagramı	Bir faaliyetin gerçekleştirilmesinde takip edilen adımlarını ve oluşum evrelerini sıralı olarak görülmesini sağlayan bir kalite aracıdır.	

3.2. Kalite maliyetleri

Kalite maliyetleri, farklı sektörlerde meydana gelen veya gelebilecek hataların önlenmesi, hataları kontrol edebilmek için değerlendirilmesi, müşteriye ulaştıktan sonra karşılaşılan hataların ortaya çıkardığı maliyetler şeklinde tanımlanabilir. Ürün yaşam eğrisinde herhangi bir süreçte ortaya çıkabilecek hataların önlenmesi veya düzeltilmesini içeren maliyetlerin bütününden oluşmaktadır (Atış ve Kurtlar, 2015). Toplam Kalite Yönetimi anlayışı gereği, kalitenin sürdürülebilirliği ve geliştirilmesi için kalite maliyeti

kavramı önem kazanmaktadır. Üretim veya hizmet sektör fark etmeksizin müşteri tarafından beklenen kalitenin gerçekleştirilmesi için yapılan faaliyetlerin oluşturduğu maliyetler işletmeler tarafından ölçülebilir olmalıdır. Sürekli iyileştirme faaliyetleri, yalnızca müşteri beklentilerini karşılamayı değil aynı zamanda bunu sağlarken mümkün olan en düşük maliyetle gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Bu nedenle kaliteyi iyileştirme konusunda izlenecek her adımda değişim ve gelişmelerin takip edilebilmesi, kaliteyi sağlayabilmek adına katılan maliyetlerin muhasebesi ile gerçekleştirilebilmektedir (Çabuk, 2005; Schiffauerova ve Thomson, 2006; Jafar vd., 2010). Feigenbaum’a (1991) göre maliyet raporlamaları; gider raporları, muhasebe verileri, sipariş formları, zaman çizelgeleri, tamir ve yeniden işleme verileri gibi birçok kaynaktan elde edilebilir fakat verilere direkt olarak ulaşamayan durumlarda finansal analize dayalı tahminleme yöntemleri kullanılabilmektedir.

Kalite maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılabilecek bazı veri kaynakları aşağıdaki gibi listelenebilir (Ceylan, 2012):

- Maaş bordroları
- Çalışma zaman çizelgeleri
- Örgüt şeması, iş tanımları, bölüm bütçeleri, standart maliyetler
- Hammadde satın alma belgeleri
- Üretim veya hizmetin maliyet çizelgeleri
- Test ve muayene raporları
- Tamir veya yeniden işleme verileri
- Müşteri şikayetlerini ileten belgeler
- Hurda, fire ve iade raporları
- Diğer masraflar

Üretim veya hizmet sistemlerinde meydana gelen ancak takip edilemeyen kalite maliyetlerini tespit ederek gözlemleyebilmek ve maliyetlerin kayıt altına alınabilmesi için maliyet ilişkilerine ışık tutan modellere ihtiyaç duyulur (Akkoyun ve Ankara, 2009). Kalite maliyetlerinin muhasebeleştirilmesi adına kalite kavramının gelişim süreci boyunca verileri ölçen ve sınıflandıran birçok kalite maliyet modeli geliştirilmiştir. Bunlardan literatürde en yaygın kullanılanları; PAF Modeli, Crosby Modeli, Faaliyet Tabanlı Maliyetleme, Taguchi’nin Kayıp Fonksiyonu, Fırsat Maliyetleri ve Süreç Maliyet Modeli olarak

verilebilir. Bu modeller arasında literatürde en çok kabul gören model ise Feigenbaum'un geliştirmiş olduğu PAF Modeli'dir. Çalışmada bu nedenle kalite maliyetlerinin izlenmesinde PAF Modeli'nin kullanılması tercih edilmiş ve daha detaylı bilgi verilmiştir.

3.2.1. Crosby Maliyet Modeli

Crosby, 1979 yılında geliştirdiği maliyet modelinde kalite maliyetlerini uygunluk maliyeti ve uygunsuzluk maliyeti olmak üzere ikiye ayırmıştır. Uygunluk maliyetini, ürünleri veya hizmeti belli şartlara uygun şekilde yapmanın maliyeti olarak tanımlamış ve uygunsuzluk maliyetini ise şartları karşılama esnasında oluşan hataların maliyeti olarak ele almıştır. Bu maliyet modelinde de süreç maliyet modeline benzer süreçler ele alınarak kalite maliyetleri belirlenmekle birlikte bu modeldeki kalite maliyetleri, süreç maliyet modelinden ayrı olarak PAF maliyet modelindeki gibi kullanılmaktadır. PAF Modeli'ne uygunluk maliyetlerinde önleme ve değerlendirme maliyetlerini, uygunsuzluk maliyetlerinde ise başarısızlık maliyetlerini içermesi bakımından benzerlik göstermektedir (Yıldırım ve Saylık, 2009; Ceylan, 2012). Crosby (1979)'a göre bir işletmenin başarılı olabilmesi için en önemli koşul önleme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ve önleme faaliyetlerinin de tasarım aşamasından başlanarak ele alınmasıdır.

3.2.2. Süreç Maliyet Modeli

Proses maliyet modeli olarak da geçen Ross tarafından geliştirilmiş süreç maliyet modelinde tüm süreçler için uygunluk ve uygunsuzluk maliyetleri ile toplam maliyet hesaplanmaktadır. Uygunluk maliyetlerini, kalitesizliği önleme adına gerçekleştirilen kalitesizliğin ölçülmesi ve onaylanması, tasarımı gözden geçirme, süreç kontrolü, planlama ve denetim, pazar analizleri gibi maliyetler oluşturmaktadır. Uygunsuzluk maliyetinde ise ürünün kalitesizliğinden kaynaklanan satış kaybı, tamir, yeniden işleme, ürünün geri çağırılması gibi maliyetler ve bu gibi durumlarda ekstra harcanacak zamanların maliyeti yer almaktadır (Alıcı, 2007; Desai, 2008; Toraman, 2010). TKY felsefesine göre temel amaç süreçlerin ve dolayısıyla üretimin daha verimli hale getirilmesi olduğundan, her bir süreci tek tek inceleyen Süreç Maliyet Modeli'nin, Toplam Kalite Yönetimi'ne daha uygun olduğu görüşleri mevcuttur.

3.2.3. Faaliyet Tabanlı Maliyet Modeli

1980'lerin ortalarına doğru geliştirilen faaliyet tabanlı maliyetleme modelinde işletmeye değer katan ve işletmeye değer katmayan faaliyetlerin belirlenerek geleneksel maliyet muhasebesinin eksiklerini gidermeye yönelik geliştirilen bir modeldir. Her bir faaliyet tükettiği kaynak maliyetine uygun olarak analiz edilmektedir. Stratejik hedefleri geliştirmek amacıyla her bir faaliyete yönelik maliyet birikim noktalarının oluşturulması ve bu noktalardaki endirekt maliyetlerin saptanan maliyet dağıtım anahtarı ile ürünlere yüklenmesi olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, bu model ile indirekt maliyetler ve destek maliyetleri önce süreç ve operasyonlara, daha sonra ise ürün, hizmet ve müşterilere paylaştırılarak faaliyetlerin ekonomik yanlarının daha iyi görülmesini sağlamaktadır (Acar ve Papatya, 1997; Kaplan ve Cooper, 1998; Özkan, 2013).

3.2.4. Fırsat Maliyetleri

Fırsat maliyetleri, maddi olarak ifade edilemeyen görünmez maliyetlerden oluşmaktadır. Burada görünmez maliyetler, müşterinin kalite beklentilerini karşılayamamaktan ve müşterinin tatminsizliğine karşı gelen maliyetleri ifade etmektedir. Faigenbaum (1991)'e göre fırsat maliyetleri aşağıdaki gibidir:

- Müşteri memnuniyetsizliği ve kayıpları
- Gelir ve satışta yaşanan düşüş
- Güven kaybı
- İtibar ve imaj kaybı
- Pazar kaybı
- Kâr kaybı

3.2.5. Taguchi Kayıp Fonksiyonu

Kalite Kaybı Yaklaşım Modeli olarak da bilinen Taguchi Kayıp Fonksiyonu, müşteri memnuniyetsizliklerini temel alan ve Taguchi tarafından geliştirilen bir kalite maliyet modelidir. Bu modelde müşteri memnun olduğunda ürün kalitelidir yaklaşımı bulunmaktadır. Ürün, amaçlanan özelliklere göre üretildiğinde kayıp sıfır olacaktır, eğer belirlenen amaçtan sapma iki kat ise kayıp dört kat, sapma üç kat ise kayıp dokuz kat

olacaktır (Ömürgönülşen, 2007). Bu yaklaşıma göre müşteriye merkez alan model, müşterinin gelecek davranışlarını belirlemek ve imaj ve rekabette artış getirmekle birlikte, tasarım ve planlama safhalarına verilen emeğin, sonraki aşamalarda harcanacak zamandan tasarruf getireceğini savunmaktadır (Lofthouse, 1999; Çetin, 2010).

3.2.6. PAF Modeli

PAF Modeli, 1956 yılında Armand Feigenbaum tarafından geliştirilmiş olan ilk kalite maliyet modelidir (Topçu, 2005). Feigenbaum'un geliştirmiş olduğu PAF (Prevention-Appraisal-Failure), bir başka deyişle Önleme-Ölçme ve Değerlendirme-Başarısızlık Maliyet Modeli, baş harflerini alan üç kategoriden oluşmaktadır. Başarısızlık maliyetleri ise daha sonra içsel başarısızlık ve dışsal başarısızlık maliyetleri olarak ikiye ayrılmıştır (Kefe ve Tanış, 2014; Taştan, 2014).

PAF modelinin asıl olarak savunduğu varsayımlar şu şekildedir:

- Önleme ve ölçme-değerlendirme maliyetlerine yönelik yapılabilecek yatırımlar, başarısızlık maliyetlerini düşürecek ve önleme maliyetlerine yapılacak standardın üzerinde maliyetler ölçme-değerlendirme maliyetlerini düşürecektir (Schiffauerova ve Thomson, 2006).
- Önleme ve ölçme-değerlendirme maliyetlerine yapılan yatırımın marjinal maliyeti ile başarısızlık faaliyetlerindeki marjinal azalışın eşit olduğu optimum kalite dengesi sağlanacaktır (Atay, 2010).

3.2.6.1. Önleme maliyetleri

Ürün ve/veya hizmetlerin müşteri isteklerine uygun olarak ulaşabilmesi için önceden belirlenmiş standartlarla hatalar ve uygunsuzlukları önleyebilme amacıyla katlanılan maliyetlerin tamamıdır (Kendirli ve Çağırın, 2002; Şimşek ve Karakaya, 2016). Ürün ve/veya hizmetin, müşterilerin ya da tüketicilerin isteklerine uygunsuzluğunu gidermek amacı ile gerçekleştirilen faaliyetlerin maliyetleri olarak da kabul edilebilir (Aydemir ve Gürsoy, 2003). Hataları oluşmadan önce önleyebilme için ayrılan maliyetin, oluşan hataların yarattığı maliyetlerden daha az maliyetli olduğu kabul edilmektedir. Önleme maliyetleri;

pazar araştırması, mühendislik çalışmaları, eğitimler, kalite kontrol sürecini yönetme ve planlama gibi birçok süreci kapsayabilmektedir (Dalcı ve Tanış, 2002). Önleme maliyeti altında değerlendirilebilecek faaliyetler aşağıdaki gibidir (Yükçü, 1999; Yılmaz, 2003):

- Kalite planlaması: Müşteri beklentilerini karşılayacak şekilde ürün veya hizmetin kalite standartlarının oluşturulması ve sağlanması için yapılan sistem çalışmaları, personel ve zaman planlaması, dokümantasyon çalışmaları gibi planlama faaliyetlerine yönelik maliyetlerin tümünü kapsamaktadır.
- Tasarımın gözden geçirilmesi ve geliştirilmesi: ürün kalitesi ile ilgili konuların doğrulanması için gerçekleştirilen değerlendirmeler ile kalitenin gözden geçirilmesine yönelik gerçekleştirilen maliyetlerdir (Öztürk, 2009; Buzlu, 2011).
- Kalite bilgilerinin raporlanması: Kalite verilerinin elde edilmesi, bu verilerin analiz edilmesi ve geribildirimlerin raporlanması için harcanan maliyetlerdir.
- Kalite eğitimleri: Kalite eğitim maliyetleri, kuruluş içerisinde sistematik bir şekilde yürütülen ve diğer birim çalışanlarını kalite ve kalite kontrolü hususunda bilgilendiren eğitimlere yönelik geçirilen zaman ve sarf malzeme masrafları da dâhil olmak üzere her türlü maliyetleridir (Burnak, 1988).
- Araştırma ve geliştirme faaliyetleri: Kalite standartlarına uygun ürün veya hizmeti sağlayabilmek adına müşteri ihtiyaçlarını gözeterek yapılan yeni programlar ve uygulamaların maliyetidir (BS 6143-2, 1990).
- Önleyici bakım ve kalite değerlendirmede kullanılan ekipmanların bakım ve kalibrasyonları: Önleyici bakım maliyetleri, belirli dönemlerde rutin olarak gerçekleştirilen makine, teçhizat gibi üretimde kullanılan ekipmanların bakımının maliyetidir. Kalite değerlendirmede kullanılan ekipmanların bakım maliyeti ise, üretim esnasında kullanılan ölçme aleti, test ekipmanı, laboratuvar teçhizatları gibi ekipmanların kalibre edilmesi ve bakımının gerçekleştirilmesini kapsamaktadır (Keskin, 2007; Öztürk, 2009).

3.2.6.2. Ölçme ve değerlendirme maliyetleri

Ölçme-değerlendirme maliyetleri, hizmet ve/veya ürünün tasarım aşamasından satın alınan malzemelere kadar daha önce belirlenmiş olan kalite gereksinimlerine uygunluğu sağlamak ve bu gereksinimleri hangi ölçüde yerine getirdiklerini analiz etmek amacıyla,

belli başlı aşamalarda gerçekleştirilen her türlü muayene, test, ölçme ve denetleme faaliyetlerinin maliyetlerinden oluşmaktadır (Şimşek ve Karakaya, 2016). Bu nedenle daha sonraki aşamalarda meydana gelebilecek hataların önlenmesi ve toplam kalite maliyetlerinin azaltılması için ölçme ve değerlendirme maliyetlerinin iyi analiz edilmesi ve gereken durumlarda ilgili faaliyetlerin arttırılması gerekmektedir. Ölçme ve değerlendirme maliyetleri aşağıdaki faaliyetleri kapsamaktadır (Foster Jr., 1994; Salık, 2014):

- Girdi kabul muayenesi: Tedarikçiden satın alınan hammadde, yardımcı malzeme gibi ilk ürünlerin fatura kontrolü, örnek ürün kalite kontrolü, ölçümü ve denetimi için harcanan zaman ve masrafların maliyetidir (Öztürk, 2009; Buzlu, 2011).
- Muayene ve testler: Üretimi yapılan ürünün kalitesini ve performansını değerlendirme amacıyla kontrol aşamalarında harcanan zaman ve kaynakların maliyetidir.
- Laboratuvar kabul testleri: Laboratuvar ölçümü gerektiren testlerde ölçüm maliyetleri, ölçümlerde kullanılan araç kalibrasyon ve tamiri için gerekli maliyetleri oluşturur.
- Muayene ve test için gerekli materyaller: Bazı durumlarda muayene ve test süreçlerinde ek materyaller gerekebilmektedir. Bu tarz durumlarda harcanan malzeme maliyetleri ve zamanlar bu kategoride ele alınmaktadır.
- Saha performans testleri: Üretilen ürün veya hizmetin, müşteriye beklentilerinin karşılanıp karşılanmadığını test etme imkânı tanıyan testlerin maliyetidir. Müşteri kullanım ortamına ulaşma maliyetlerini de içermektedir.
- Muayene ve test verilerinin gözden geçirilmesi: Ürün kalitesinin izlenebilirliğini sağlamak amacıyla kalite kontrol süreçlerinin ve sonuçlarının kaydedilmesi, verilerin incelenerek gerekli faaliyetlerin analiz edilmesi maliyetlerini kapsar.
- Malzemelerin değerlendirilmesi: Stokta bulunan hammadde ve yardımcı malzemelerin üretim sonu değerlendirilmesi, kayıt tutulması, belgelerin gözden geçirilmesi faaliyetlerinin maliyetine karşılık gelmektedir (Öztürk, 2009).

3.2.6.3. Başarısızlık maliyetleri

Başarısızlık maliyetleri; ürün veya hizmette yer alan hataların müşteriye ulaşmadan önce tespit edilmesi ve bu hataların düzeltilmesi için yürütülen faaliyetlerin maliyetlerini

temsil eden iç başarısızlık maliyetleri ve ürün veya hizmette yer alan hataların müşteriye ulaştıktan sonra oluşan şikayetlerin giderilmesi için yürütülen faaliyetlerin maliyetlerini içeren dış başarısızlık maliyetleri olarak ikiye ayrılmaktadır (Goulden ve Rawlins, 1997). Bu maliyetler sadece ölçülebilen maliyetleri değil ölçülemeyen müşteri memnuniyetsizliği gibi maliyetleri de içermektedir (Demir ve Gülcü, 2012). İşletmede başarısızlık maliyetleri doğru analiz edildiğinde ve önleme ile ölçme ve değerlendirme maliyetlerine yatırım yapıldığında başarısızlık maliyetlerinin tamamen ortadan kaldırılamasa da büyük ölçüde azalacağı savunulmaktadır.

➤ İç Başarısızlık Maliyetleri

Önleme ve ölçme-değerlendirme maliyetlerinin gideremediği hata durumlarının, son ürün veya hizmetin müşteriye ulaşmadan önce işletme içerisinde düzeltilmesi aşamasında katlanılan yeniden işleme, tamir ve onarımlar, tekrar testleri gibi maliyetlerdir (Kendirli ve Çağiran, 2002; Çabuk, 2005; Şimşek ve Karakaya, 2016). İç başarısızlık maliyetleri genellikle aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Fire/hurda maliyeti: Satın alınan malzemeden veya üretimden kaynaklı, üretim esnasında veya son kalite kontrol aşamalarında tespit edilen ve tamir edilmesi mümkün olmayan, müşteriye ulaştırılamayacak ürünlerin oluşturduğu maliyetlerdir (Yükçü, 1999; Öztürk, 2009).
- Yeniden işleme maliyeti: Hatalı olduğu tespit edilen ürünlerde, yeniden fonksiyonunu yerine getirebilmesi amacıyla malzeme değişimi, yeniden üretimin bazı aşamalarından veya birkaç tamir işleminden geçmesi gereken ürünlerin hatalarını giderme maliyetlerini içermektedir (Yükçü, 1999).
- Yeniden test etme maliyeti: Yeniden işleme gerektiren hatalı ürünlerin tamiri sonrası tekrarlanan muayene ve testlerin, personel giderlerinin ve ek malzemelerin maliyetidir (Burnak, 1988; Ömürgönülşen, 2007).
- Değişim izinleri ve imtiyazlar: Ortaya çıkan hatalara bağlı analiz gerektiren durumlarda tasarımın gözden geçirilmesi, teknik özelliklerde yapılan değişiklikler için alınacak onaylar karşılığında harcanan zaman ve materyal maliyetlerini ele almaktadır (Yükçü, 1999; Ömürgönülşen, 2007).

- Tedarikçi / taşeron hataları: Üretim öncesi tedarikçilerden temin edilen hammadde ve malzemelerin kusurlu olmasından kaynaklanan ve malzemelerin değiştirilmesi, yeniden işlenmesi, sipariş miktarlarının yeniden düzenlenmesi gibi maliyetleri içermektedir (Besterfield, 1994).
- Zaman ve işçilik kayıpları: İşletme içerisinde farklı nedenlerden kaynaklı insan ve makine işgücünün verimli kullanılamaması, duruşların yaşanmasıyla meydana gelen ücret kaybına karşılık gelen maliyettir (Yükçü, 1999).
- Kazanç kayıpları: Bazı durumlarda mamül veya yarımamüller müşterinin kalite beklentisini tam olarak karşılayamamakta fakat yine de müşteriye teslim edilemeyecek durumda da olmamaktadır. Bu hallerde işletmeler, normal satış fiyatlarından daha düşük bir fiyattan satış gerçekleştirmektedir ve aradaki fiyat farkı, kalite uygunsuzluğundan kaynaklı kazanç kaybını ifade etmektedir.

➤ Dış Başarısızlık Maliyetleri

Dış başarısızlık maliyetleri, ürün veya hizmet son kullanıcıya veya müşteriye ulaştıktan sonra meydana gelen hataların maliyetidir (Bland vd., 1998). Dış başarısızlık maliyeti, normal kalite standardında olmayan ürünlerin son kullanıcıya ulaşması sırasında meydana gelen yükleme ve indirme maliyetleri, ürünün elde tutulması esnasında oluşan maliyetlerle firma itibarında oluşabilecek olumsuz etkilerden dolayı yaşanabilecek satış kayıplarının maliyetlerini kapsamaktadır (Demircioğlu ve Küçüksavaş, 2009). Dış başarısızlık maliyetleri genel olarak; şikayetler, ceza veya tazminatlar, geri çağırımlar, satış kayıpları, imaj ve pazar kaybı, garanti talepleri gibi maliyetleri kapsamaktadır (Şimşek, 2007; Bekçi ve Toraman, 2011).

- Müşteri şikayetleri: Teslimden sonra müşterinin kusurlu olduğunu düşündüğü ürünün analizi, hataların tespit edilmesi ve nedenlerinin belirlenmesi, şikayetleri giderme yöntemlerinin tartışılması gibi harcanan zamanların maliyetlerini içermektedir.
- Hurda ve iadeler: Garanti kapsamında veya garanti dışı üründe gerçekleşen problemler, müşterinin beklentilerini karşılamaması gibi durumlarda ürünün iade edilme sürecine yönelik işletmenin karşıladığı maliyetlerdir (Feigenbaum, 1991; Yükçü, 1999).

- İmtiyazlar: İşletmenin, hataları karşısında müşteriye karşı imajını koruyabilmesi adına yaptığı uzlaşmalar, telafi amaçlı indirimler bu kalemde yer almaktadır (Juran ve Gryna, 1988).
- Satış kayıpları: Kalitesizliğin neden olduğu sipariş iptalleri ve satıştan kazanılabilecek tutarın kaybını ifade etmektedir.
- Garanti istekleri: Ürün müşteriye ulaştıktan sonra garanti kapsamındayken hatayla karşılaşılması durumunda yeni ürünle değiştirilmesi veya onarılması maliyeti, şikayetlerin giderilmesi için harcanacak zaman maliyetleri dahil edilmektedir (Öztürk, 2009).
- Nakliye maliyetleri: Hatalı ürünlerin yeniden temin edilmesi, işleme gönderilmesi gereken durumlarda işletmenin karşıladığı nakliye ve kargolama ücretlerinin toplamıdır.
- Müşteri ile temas sağlama maliyetleri: Satış sonrası kusurlu olduğu tespit edilen ürünlerin bildirilmesi, yenisiyle değiştirilmesi, tamire gönderilmesi, tekrar temin edilmesi esnasında işletme ve müşteri arasında gerçekleşen ulaşım, haberleşme gibi faaliyetlerin maliyetidir (Yükçü, 1999; Buzlu, 2011).

Bir kalite maliyet kaleminin hangi sınıfta hesaplanacağına her zaman kesin ve net bir yargıyla karar verilememektedir. Bu gibi durumlarda Şekil 3.2.'de yer alan diyagram takip edilerek kalite maliyet türü belirlenebilmektedir.



Şekil 3.2. Kalite maliyet türü belirleme diyagramı (Karcıoğlu, 2000)

3.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)

Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode Effect Analysis - FMEA), her türlü sistemde kalitenin iyileştirilmesi ve hataların önceden tespit edilebilmesi amacıyla kullanılan bir yöntemdir ve sistemlerin her aşamasında kullanılabilmektedir. Bir ürün henüz düşünce, tasarım ya da fikir aşamasında iken kâğıt üzerinde veya dijital ortamda ilk reel ürün son kullanıcının veya müşterinin elinde başarısız olması beklenmeden uygulanmaktadır. Bu durumun anlamı, ürün son tüketiciye iletilmeden hataların tespit edilmesidir (Hsiao, 2002). Hatalar meydana geldikten sonra katlanılan maliyetler ve şikayetlere kıyasla, meydana gelmeden değerlendirilmesi ve önleyici faaliyetlerin hayata geçirilmesi sistemin tüm elemanları için daha avantajlıdır.

Çok yaygın kullanım alanı tanıyan FMEA için farkı tanımlar yapılmıştır. Bunlardan en kapsamlı ve açıklayıcı olanları aşağıdaki gibidir:

FMEA tasarım, proses, sistem ve hizmet ile ilgili bilinen ve/veya olası hataları, yanlışları ve problemleri müşteriye ulaşmadan belirlemeyi, tanımlamayı ve ortadan kaldırmayı amaçlayan mühendislik tekniğidir (Büyüktuna, 2012).

Yeni bir ürünün tasarlanmasında, bir üretim sürecinin yeniden gözden geçirilip analiz edilmesine veya yeni bir projeye başlama kararı alındığında, ürün, süreç veya servis sistemlerinde mevcut veya olası hata türlerini elimine etmek amacıyla kullanıldığında gerekli faaliyetlere yönlendirerek olası en yüksek güvenilirliği, dayanıklılığı ve kaliteyi garanti etmektedir (Ateş vd., 2006). Böylece tüm hata türlerini değerlendirme yerine iyileştirme faaliyetleri için daha önemli olan hata türlerine yönelterek bir başlangıç noktası sunmaktadır.

FMEA'nın tarihçesi İkinci Dünya Savaşı dönemine uzanmaktadır ve ilk defa Amerikan ordusu tarafından sistem ve ekipman hatalarının değerlendirilmesi amacıyla oluşturulan bir prosedür olarak karşımıza çıkmaktadır (Özkılıç, 2005; Kahraman ve Demirer, 2010; Özfirat, 2014). Otomotiv sektöründe ilk kez uygulaması yapılan ve 1977 yılında Ford'un uyguladığı bu metot daha sonraları otomotiv sektöründe diğer iki büyük işletmede; General Motors ve Chrysler tarafından da kullanılmaya başlanmıştır (Gilchrist, 1993). Yıllar içerisinde farklı alanlarda faaliyet gösteren firmaların uygulamasıyla

yaygın hale gelmiştir. Yalnızca otomotiv, havacılık sanayii, elektronik sektörüyle sınırlı kalmamış ve artık günümüzde her türlü üretim sektöründe ve turizm, sağlık gibi birçok hizmet sektöründe de faydalı olduğunu kanıtlamıştır.

FMEA kalite yönetim sistemlerinde ve problem çözme teknikleri içerisinde yer alan bir yöntemdir. FMEA sistemdeki hatalar hakkında bilgi vermekte ve zarar verecek olası durumların azaltılmasını sağlamaktadır (Liu ve Tsai, 2012). “Bir FMEA programının başarılı bir şekilde uygulanmasında en önemli etkenlerden birisi bunun tam zamanında yapılmasıdır. Bunun anlamı, olay olmadan önce yapılması, olduktan sonra yapılmamasıdır” (Ford, 2000).

Juran (1989)’a göre FMEA uygulamasının başlayabilmesi için aşağıdaki durumlar gereklidir:

- Yeni sistemler, tasarımlar, ürünler, prosesler veya servislerin oluşturulması,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servislerin sebeplerine bakılmaksızın değiştirilmesi,
- Mevcut koşullardaki sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler için yeni uygulamalar bulunması,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servislerin geliştirilmesi düşünülmesi.

FMEA’nın amaçları ve sağladığı bazı avantajlar aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Ürün, süreç, tasarım veya hizmette hataların sistematik olarak ele alınmasını ve oluşabilecek hataları önceden belirleyerek önlenmesini sağlamak,
- Sistematik olarak ele alınan hataların, hangi süreçte daha etkili ve kritik olduğunu tanımlayarak müşteriye karşı olası en yüksek riskli hataların tespit edilmesiyle müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin karşılandığından emin olmak,
- Sistem bileşenlerinin analizi esnasında deneyimli ve yetkili kişi veya birimlerin görüş ve tecrübesinden faydalanmak,
- Ürün, tasarım, proses veya hizmet sisteminde hataların türlerini, oluşum olasılığını, hatanın neden kaynaklandığını, nasıl giderilebileceğini, yapılacak değişikliklerin sistemi nasıl etkileyeceğini, eksik, yetersiz ve zayıf yönleri tespit edebilme yeteneği

kazandırmak (Çeber, 2010; Büyüktuna, 2012; Aran, 2006; Bolat, 2000; Kahraman, 2009),

- Firmanın rekabet yeteneklerini arttırmak ve imajını desteklemek,
- Garanti maliyetlerini azaltmak ve geç değişikliklere bağlı maliyetleri azaltmak,
- Sürekli gelişme bilincinin yaygınlaştırılarak ekip ruhunda devamlı daha iyiye yönelme duygusunu geliştirmek (Taşan, 2006).

FMEA'nın sağladığı bu avantajlar, firmalara uygulama sonucu ürün kalitesini iyileştirme, imajını koruma, rekabet avantajı, müşteri tatmini, zaman ve maliyet tasarrufu, güvenilirlik gibi kritik kazanımlar sağlayacaktır. FMEA genellikle uygulandığı alana yönelik olarak dört kategoride ele alınır. Bu kategoriler, Sistem FMEA, Proses FMEA, Tasarım FMEA ve Servis FMEA'dır.

3.3.1. Sistem FMEA

Sistem FMEA, sistemi oluşturan elemanlar arasında meydana gelen yetersizlikler, potansiyel hata türlerini tespit edebilmek için sistemin fonksiyonları ve alt sistemlerin analiz edilmesinde kullanılmaktadır (Eleren, 2007). Sistem FMEA,

- Potansiyel problemlerin bulunabileceği alanları daraltarak fazlalıkların belirlenmesi (Durhan, 2006),
- Sistem fonksiyonlarının tanımlanması ve alt sistemlerde oluşabilecek hataların daha iyi analiz edilmesi amacıyla bir temel meydana getirmesi,
- En iyi sistem alternatifinin seçilebilmesi yolunda en yüksek öncelikten başlayarak ele alınması gereken alt potansiyel hataları sıralaması gibi faydalar sağlamaktadır (Duran, 2007).

3.3.2. Proses FMEA

Diğer adıyla Süreç FMEA olarak da bilinir. “Süreçleri ana ve alt süreçler olarak analiz eden ve süreci oluşturan faktörler arasındaki potansiyel hata türlerini belirlemeyi amaçlayan bir yöntemdir” (Eleren, 2007). Proses FMEA'nın amacı, ürünün üretimi esnasında meydana gelebilecek hataların önlenmesine yardımcı olmaktır. Analiz fonksiyonlarının; insan, makine, malzeme ve çevre şartları olarak üretim sürecinin kapsamlı

değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu fonksiyonlar çok değişkenli olduğundan diğer FMEA türlerine göre daha zor görülmektedir (Okumuş, 2015). Proses FMEA,

- Üretim sürecinin hedeflerine uygun olarak üretim fonksiyonlarını ve gerekliliklerini analiz ederek tanımlamak,
- Üretimde meydana gelebilecek hataların potansiyel müşteriler üzerinde yaratabileceği etkileri değerlendirmek,
- Kritik hata türlerinin önceliğini belirlemek ve planlama yapmayı kolaylaştırmak,
- Üretimde uygulanabilecek önleyici ve düzeltici faaliyetleri tespit edebilmek şeklinde avantajlar sağlamaktadır (Duran, 2007).

3.3.3. Tasarım FMEA

Tasarım FMEA, üründe tasarımdan kaynaklı üretim aşamasında veya müşteride tespit edilebilecek hataları önlemek amacıyla, üretim aşamasına geçilmeden önce uygulanmaktadır. Tasarım aşaması dışında imalat, montajda, donanımda ve müşterinin kötü kullanımından dolayı üründe oluşacak tasarımla veya müşteri şikayetleri doğrultusunda yeni ürün ve teknolojilerin tasarımı ve geliştirme aşamasında olası hata türlerini belirlemeyi amaçlayan bir yöntemdir (Durhan, 2006). Tasarımın bütününden küçük parçalara ayrılarak analiz yapılabileceği gibi, en küçük parçadan başlanarak son tasarıma doğru şeklinde de ele alınabilmektedir. Tasarım FMEA ile,

- Tasarım geliştirme faaliyetleri için önemli ve kritik özelliklerin tanımlanarak önceliklerin belirlenmesi,
- Tasarımların geliştirme ve doğrulanması esnasında yapılabilecek değişikliklerin değerlendirilmesi (Akın, 1998),
- Tasarımın kalitesini, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğinin maksimize edilmesi,
- Ürün tasarım doğrulama ve test etmede yardımcı bilgi sağlanması,
- Tasarım gereksinim ve alternatiflerinin saptanmasına yardımcı olması sağlanabilir (Durhan, 2006).

3.3.4. Servis FMEA

Üretim faaliyetleri haricinde servis sektöründe de etkili şekilde kullanılabilen FMEA'nın diğer bir türü olan Servis FMEA'da ise servis hizmeti müşteriye ulaştırılmadan önce hataların analiz edilmesi ve önlenmesi amaçlanmaktadır. Servis FMEA,

- Servis sürecinde iş akışının analiz edilmesi ve sistemin yetersizliklerinin belirlenmesi,
- Kritik düzeyde olan işlemleri tespit ederek iyileştirme faaliyetlerinin önceliklendirilmesi gibi faydalar kazandırmaktadır (Okumuş, 2015).

3.3.5. FMEA uygulama adımları

Uygulanacak FMEA türüne bağlı olarak literatürde problemin amacına, işletmenin veya hizmetin yapısına, sistemin bileşenlerine göre FMEA'nın farklı şekillerde uygulanabildiği bilinmektedir. Yapılan literatür taraması sonucunda genel ve ortak olarak kullanılan adımlar aşağıda verilmiştir.

- FMEA uygulamasının amacının belirlenerek amacı yerine en iyi şekilde getireceği düşünülen karar vericileri içeren uzman grubun kurulması: Yeni bir sistemin, ürünün ya da sürecin tasarlandığı yahut mevcut sistem, ürün veya süreçler üzerinde düzenlemelerin yapılacağı dönemler, FMEA çalışmasının yürütülmesi için en uygun dönemlerdir. Öncelikle çalışmanın amacı ve sınırları açıkça belirlenir (Aydan ve Kaya, 2017). Çalışmayı gerçekleştirecek olanların sorumlulukları da bu aşamada belirlenir. FMEA uygulanacak konuda hedef net olarak belirlenmeli ve bu hedef doğrultusunda görüşüne başvurulacak yeterli sayıda karar vericiden oluşan ekip, bilgi ve tecrübeleri doğrultusunda bir araya getirilerek yanlılığın ortadan kaldırılması ve objektif bir çalışma yapılması sağlanmalıdır.
- Sürecin incelenmesi sonucu sistem bileşenlerinin alt bileşenlere ayrılarak aralarındaki ilişkilerin belirlenmesi ve değerlendirme formatının oluşturulması: FMEA uygulaması için kurulan ekibin ürün, süreç veya sistem hakkında detaylı bilgiye ulaşması ve akış diyagramları gibi araçlardan faydalanarak sistemin alt bileşenlerini ayrıntılı şekilde incelemesi gerekmektedir.

- Beyin fırtınası yöntemiyle her bileşene yönelik hata türlerinin, hataların temel nedenlerinin ve hataların sistemde ve/veya müşteride yaratabileceği etkilerin tespit edilmesi: Karar verici grubunun olası hata etkilerini değerlendirirken “Bu hata türü ortaya çıkarsa ne tür sonuçlara yol açar?” sorusuna cevap verecek şekilde beyin fırtınası yöntemini kullanmasıdır (Çeber, 2010).
- Hata türleri için şiddet derecesinin saptanması: Aydan ve Kaya’ya (2017) göre hata etkisi, sistem, tasarım, süreç veya hizmette meydana gelecek bir hatanın ortaya çıkaracağı sonuçtur. Şiddet derecesi hesaplanırken olası hatanın müşteri ve/veya sisteme etkisinin ağırlığı değerlendirilmektedir. Risk derecesi saptamasında, geçmişteki hataların değerlendirilmesi yol gösterici olabilmektedir. Şiddet derecesi, Çizelge 3.4’te yer alan Şiddet Derecelendirme Tablosu’na uygun olarak gerçekleştirilir.

Çizelge 3.4. Şiddet Derecelendirme Tablosu (Down vd., 2008)

ETKİ	KRİTER	DERECE
Tehlikeli	Emniyetle ilgili arıza, yasalarla uyumsuz bir arıza. Hata herhangi bir ikaz olmadan meydana gelir.	10
Ciddi	Emniyetle ilgili arıza, yasalarla uyumsuz bir arıza. Hata bir ikazla meydana gelir.	9
Çok büyük	Üründe temel fonksiyonların kaybı. Ürünün tamamı hurdaya çıkar.	8
Büyük	Ürün/süreç üzerinde büyük etki. Ürün kullanılamaz. Üretimin ayıklanması ve bir bölümünün (%100’den az) hurdaya ayrılması gerekir.	7
Önemli	Parçanın yeniden işlenmesine neden olur. Ürün performansının derecesi düşmüştür. Ürün çalışmaktadır fakat kolaylık/rahatlık sağlayan bazı parçalar çalışmaz.	6
Orta	Ürün performansı veya süreç üzerinde orta şiddette etki. Müşteri bazı rahatsızlıklar duyar. Kolaylık/rahatlık sağlayan bazı parçalar düşük performansla çalışırlar.	5
Küçük	Ürün performansı veya proses üzerinde küçük şiddette etki. Hata müşteri tarafından fark edilir ve ürün kullanımında bazı rahatsızlıklar yaşanır.	4
Önemsiz	Ürün performansı veya proses üzerinde önemsiz etki. Hata müşteriler tarafından fark edilir.	3
Çok önemsiz	Ürün performansı veya proses üzerinde çok önemsiz etki. Hata müşteriler tarafından fark edilmez.	2
Etkisi yok	Ürün performansı veya proses üzerinde hiç etkisi yok.	1

- Hata türünün ortaya çıkma olasılığının tahmin edilmesi: Hata türünün ortaya çıkma olasılığı, istatistiksel yöntemlerle elde edilebileceği gibi mevcut durumda somut verilerin olmaması durumunda uzman gruptan tecrübeleri ile değerlendirme yapmaları istenir (Stamatis, 2003). Her hata türünün hangi sıklıkta oluşabileceği Çizelge 3.5.'te yer alan Olasılık Değerlendirme Tablosu'na göre derecelendirilir.

Çizelge 3.5. Olasılık Değerlendirme Tablosu (Chang ve Sun, 2009)

Hata Olma Olasılığı	Hatanın İhtimali	Derece
Oldukça yüksek: hata neredeyse kaçınılmaz	1/2'den fazla	10
Çok Yüksek	1/3	9
Yüksek	1/8	8
Kısmen yüksek	1/20	7
Kısmen orta	1/80	6
Orta	1/400	5
Kısmen Düşük	1/2000	4
Düşük	1/15000	3
Çok düşük	1/150000	2
Olası Olmayan Hata (Çok Az)	1/1500000'den düşük	1

- Hata türünün meydana gelmeden önce saptanabilirliğinin değerlendirilmesi: Saptanabilirlik değeri, olası hata türlerinin gerçekleştiği varsayılarak, hatalı ürünün müşteriye ulaşmadan önce firma veya süreç içerisinde tespit edilebilirliğini ifade etmektedir. Geçmiş dönem verileri analiz edilerek grup üyelerinin tecrübelerine dayanarak objektif bir şekilde puanlama yapması beklenir. Saptanabilirlik değerleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Saptanabilirlik Değer Tablosu (Down vd., 2008)

TESPİT ETME	KRİTER	DERECE
Hemen hemen imkânsız	Tespit etme imkânı yok.	10
Çok Zor	Kontrollerin hata türünü belirlemesi çok zor.	9
Zor	Kontrollerin hata türünü belirlemesi zor.	8
Çok Az	Kontrollerin hata türünü belirlemesi çok azdır.	7
Az	Kontrollerin hata türünü belirlemesi azdır.	6
Orta	Kontrollerin hata türünü belirlemesi ortadır.	5
Ortanın üstü	Kontrollerin hata türünü belirlemesi ortanın üstündedir.	4
Yüksek	Kontrollerin hata türünü belirlemesi yüksektir.	3
Çok yüksek	Kontrollerin hata türünü belirlemesi çok yüksektir.	2
Hemen hemen kesin	Kontrollerin hata türünü belirlemesi hemen hemen kesindir.	1

- Risk derecesi, hatanın meydana gelme olasılığı ve saptanabilirlik değerleri ile Risk Öncelik Sayısı'nın (RÖS) hesaplanması ve büyükten küçüğe sıralanması: RÖS değeri Şiddet (Ş), Hatanın meydana gelme olasılığı (O) ve Saptanabilirlik (S) değerlerinin çarpılmasıyla hesaplanmaktadır ve Eşitlik (3.1) uygulanır.

$$RÖS = \text{Ş} \times O \times S \quad (3.1)$$

Burada;

Şiddet (Ş); sistemde meydana gelen hatanın müşteri üzerindeki etkisinin derecesidir.

Ortaya Çıkma (O); hatanın meydana gelme olasılığına ilişkin derece değeridir, diğer bir ifade ile hata nedeninin hata türüne yol açması ihtimaline karşılık gelen derece değeridir.

Belirlenebilirlik (S); sistemde gerçekleştirilen mevcut kontroller aracılığı ile olası bir hatanın müşteriye ulaşmadan önlenmesi derecesidir (Stamatis, 1995; Çeber, 2010).

- En büyük RÖS değerine sahip hata türünden başlayarak düzeltici ve önleyici faaliyetlerin önerilmesi: RÖS değerlerinin analizinde kullanılan genel ölçütler Çizelge 3.7.'de bulunmaktadır. Buna göre;

Çizelge 3.7. RÖS Değerlendirme Tablosu (Öztürk, 2016)

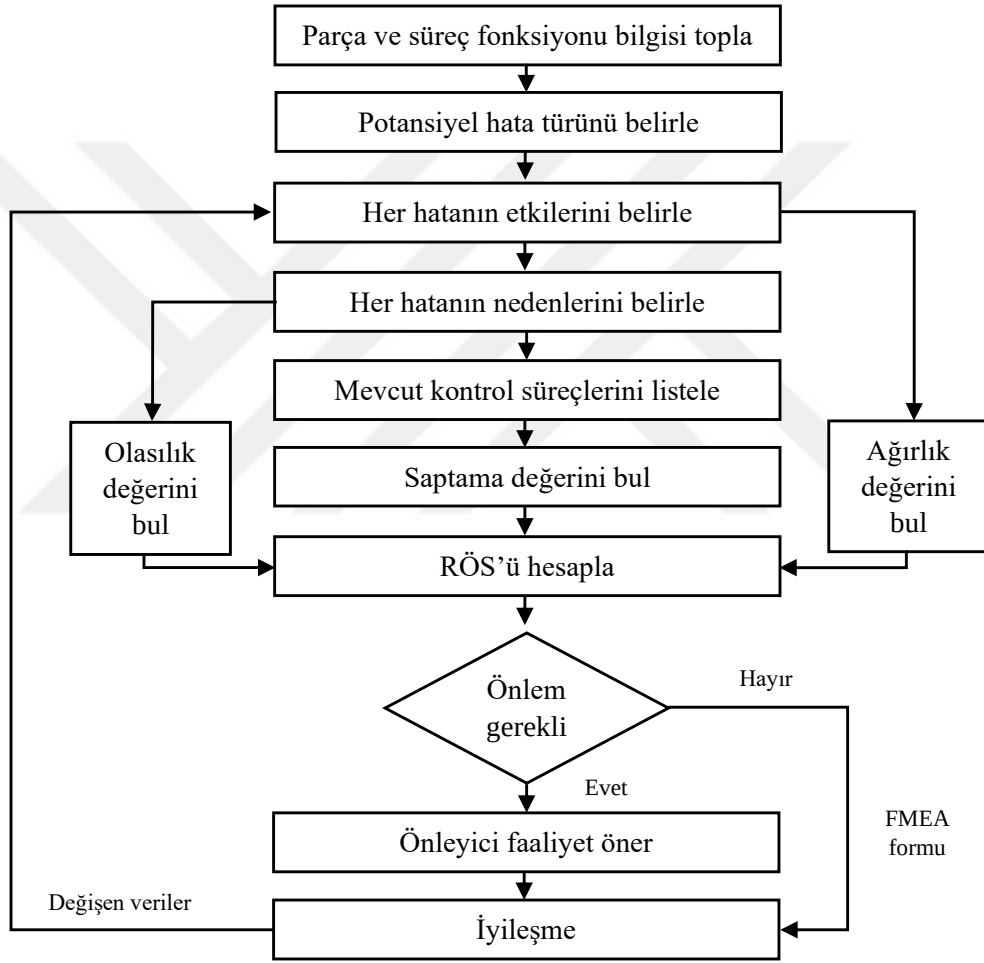
RÖS Değeri	Önlem
$RÖS < 40$	Önlem almaya gerek yok.
$40 \leq RÖS \leq 100$	Önlem alınabilir.
$RÖS > 100$	Önlem alınması gereklidir.

Önlem alınması gerekli olduğu tespit edilen hata türlerinden en yüksek RÖS değerine sahip olandan başlanarak önlenmesi ve mümkünse ortadan kaldırılabilmesi için yapılması gereken faaliyetler belirlenir. Amaç, hata olasılığını, muhtemel etkilerin şiddetini azaltmak ve belirlenimi kolaylaştırmaktır (Kahraman ve Demirer, 2010; Aydan ve Kaya, 2017).

- Alınan önlemler sonrasında yeni RÖS değerlerinin hesaplanması: Düzeltici ve önleyici faaliyetler sonrasında olası hatalar için FMEA tekrar uygulanır ve yeni bir RÖS değeri elde edilir. Daha önceden yapılan FMEA sonuçları ile karşılaştırılır ve değerlerin istenilen seviyeye inip inmediği, yeni durumda daha öncelikli durumda

olan hata türü olup olmadığı analiz edilir. Gerekli görüldüğü durumda FMEA tekrarlanır (Çeber, 2010).

Literatürde farklı şekillerde uygulama süreçlerine rastlansa da FMEA'nın genel olarak işleyiş prosedürü ve uygulama adımları Şekil 3.3.'te özetlenmiştir.



Şekil 3.3. FMEA Uygulama Adımları (Bayrakdar, 2009)

3.4. Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık AHP

Çok kriterli karar verme yöntemleri, belirli kriterler ve/veya bağlı alt kriterleri içeren, en iyi alternatif çözümü seçmeyi hedefleyen yöntemlerdir (Ayçin, 2019). Çok kriterli problemlere yönelik farklı yöntemler kullanılabilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları: Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE, VIKOR MOORA, Analitik Ağ Süreci (ANP) olarak örnek gösterilebilir. Bu yöntemler doğru problemlerde doğru şekilde uygulandığında “en iyi” sonucu karar vericiye sağlayabilmektedir. Problemin amacına uygun olarak kullanılabilecek Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri Çizelge 3.8.’de gruplandırılmıştır.

Çizelge 3.8. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması (Yıldırım ve Önder, 2015)

Seçim Problemleri	Sınıflandırma Problemleri	Sıralama Problemleri
AHP	AHP	AHPSort
ANP	ANP	UTADIS
MAUT/UTA	MAUT/UTA	FlowSort
MACBETH	MACBETH	ELECTRE-Tri
PROMETHEE	PROMETHEE	
ELECTRE I	ELECTRE III	
TOPSIS	TOPSIS	
VERİ ZARFLAMA ANALİZİ		
GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ		
VIKOR		
MOORA		
STEM		
PAPRIKA		
COPRAS		
ARAS		
SWARA		
AĞIRLIKLİ ÇARPIM		
BASİT TOPLAMLI AĞIRLIKLANDIRMA		

Bir karar verme problemi söz konusu olduğunda “en iyi” kararı verebilmek adına karar verilecek alternatif veya kriterler arasında bir sıralama veya önceliklendirme işlemi gerekmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), farklı ağırlıklandırma algoritmalarının uygulanarak ikili karşılaştırma ve buna bağlı olarak kriterlerin önceliklendirilmesini sağlamaktadır. Çok amaçlı, çok kriterli, çok sayıda alternatifin ve karar vericilerin bulunduğu karar verme problemlerinde kullanılmaktadır (Şahin, 2013). İkili karşılaştırmalar, alanında uzman bir grup tarafından

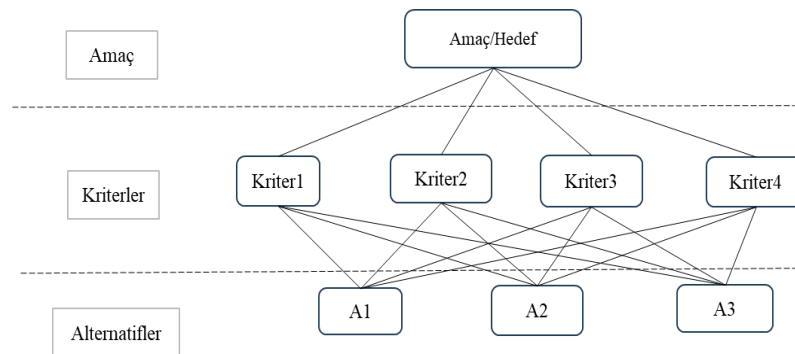
gerçekleştirilmektedir ve grupta yer alan karar vericilerin matematiksel olarak ifade edemediği durumlarda bulanık mantık uygulaması, subjektif yargıların matematiksel ifadelerle dönüşmesini kolaylaştırmaktadır.

3.4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

AHP, ilk kez Myers ve Alpert tarafından 1968 yılında ortaya çıkmış ve Saaty tarafından 1980 yılında karar verme problemleri üzerine geliştirilmiş bir yöntemdir (Saaty, 1990). Hiyerarşik olarak problemin amacını, kriterleri, varsa alt kriterleri ve çözüm alternatiflerini belirlemeyi gerektirir. Karmaşık problemlerin çözümü için nicel ve nitel öğeler birlikte kullanılarak modelleme yapılmaktadır (Peker, 2014). Belirlenen tüm kriterlerin birbiri ile ikili karşılaştırılması, karar vericinin bir kriteri diğerine göre hangi oranda tercih ettiği şeklinde gerçekleştirilir ve sayısal ifadeler ile değerlendirilir (Şahin, 2013). Kriterleri önceliklendirirken en iyi alternatifi seçmenin yanında, diğer alternatifler arasında sıralama yapmayı da sağlamaktadır. AHP Algoritması'na göre başlıca adımlar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Problemin tanımlanması, amaç veya hedefin belirlenmesi, faktör ve/veya alt faktörlerin tespit edilmesi ve hiyerarşik yapının kurulması

AHP yönteminde ilk olarak amaç veya hedef belirlenir. Bu amaç doğrultusunda kararı etkileyen faktörler ve/veya alt faktörler ile karar alternatifleri tespit edilir. Faktörleri karşılaştırmada ve problemi analiz etmede bağımsızlığı sağlaması adına hiyerarşik bir yapı oluşturulur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Analitik Hiyerarşi Süreci'ne ait temsili hiyerarşik yapı

Şekil 3.4.’te AHP’nin temel mantığını yansıtan ve karar vericilerin ikili karşılaştırmaları değerlendirmeden önce kurduğu hiyerarşik yapı gösterilmiştir.

- n sayıda faktör ve/veya alt faktörlere yönelik nxn boyutunda ikili karşılaştırma matrisinin kurulması

Eşitlik (3.2)’de belirtildiği şekilde n sayıda faktör için nxn kare boyutunda matris kurulur ve matrisin köşegenleri “1” değerini almaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Çizelge 3.9. Saaty ikili karşılaştırma dereceleri (Saaty, 1990)

Önem Derecesi	İfade	Tanım
1	Eşit önemli	Her iki faktör eşit derecede öneme sahiptir
3	Biraz daha önemli	Bir faktör, diğerine göre biraz daha önemlidir
5	Daha önemli	Bir faktör, diğerine göre daha önemlidir
7	Çok daha önemli	Bir faktör, diğerine göre çok daha önemlidir
9	Kesinlikle daha çok önemli	Bir faktör, diğerine göre kesinlikle daha çok önemlidir.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Net karar verilememe durumunda kullanılan ara değerler

- Faktör ve/veya alt faktörlerin önem yüzdesinin tespit edilmesi

Kriterler Çizelge 3.9.’da verilen Saaty ikili karşılaştırma skalası ile karar vericilerin faktörleri ikili karşılaştırarak 1-9 aralığında bir önem derecesi ataması gerçekleştirmektedir. Köşegen üzerinde kalan bölgede a_{ij} , köşegenin altında kalan bölgede ise $a_{ji}=1/a_{ij}$ değerleri kullanılır. Eşitlik (3.3) ile sütun vektörü oluşturulur.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \\ \vdots \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

B vektörünü oluşturmak için Eşitlik (3.4)’ten yararlanılır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3.4)$$

B sütun vektörleri birleştirildiğinde Eşitlik (3.5)'teki gibi C matrisi oluşturulur

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

C matrisi kullanılarak faktörlerin önem yüzdeleri elde edilebilir. Bunun için, aritmetik ortalamayı hesaplayan formül kullanılır ve böylece Eşitlik (3.6)'daki gibi öncelik vektörü (W sütun vektörü) elde edilir.

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{21} \\ w_{31} \\ \vdots \\ \vdots \\ w_{n1} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

W vektörünün elde edilmesi için Eşitlik (3.7)'deki W_{ij} değerleri hesaplanır.

$$W_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (3.7)$$

➤ Matris tutarlılıklarının hesaplanması ve kontrol edilmesi

A matrisi ile W matrisinin çarpımı sonucu D matrisi oluşturulur. D sütun matrisini W sütun matrisine bölerek her bir faktör/alt-faktörün temel değeri (E) elde edilir. Bu E değerlerinin aritmetik ortalaması, karşılaştırmaların temel değerini verir (λ). Eşitlik (3.8), Eşitlik (3.9) ve Çizelge 3.10.'da yer alan ortalama rassal tutarlılık değerleri kullanılarak CR (Tutarsızlık Oranı) hesaplanır. CR değerinin 0.10'dan küçük olması istenir. Aksi takdirde tutarlılık oranı 0.10'dan küçük oluncaya dek işlemler tekrarlanır.

$$CI = \frac{\lambda_{ort} - n}{n-1} \quad (3.8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.9)$$

Çizelge 3.10. Ortalama rassal tutarlılık değerleri (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

AHP'nin çok karmaşık problemlerin çözümünde bile kullanılması, uygulama kolaylığı, objektif verilerin yanında subjektif verileri de kullanabilme olanağı tanınması, grup kararlarını yansıtabilmesi gibi avantajları olsa da, subjektif veriler kullanıldığında kesin sonuca ulaşılamaması, hiyerarşi yapısının değişmesine karşı çok esnek olmaması gibi dezavantajlara sahiptir (Ayçin, 2019).

AHP modeli belirsizliklerin olduğu durumlarda, karar vermeye uygun olmadığından, Bulanık Mantık ve AHP entegre edilerek BAHP modeli ortaya konulmuştur (Göksu, 2008). AHP yönteminde ikili karşılaştırmanın değerlendirilmesi esnasında öznel belirsizliklerin ortadan kaldırılması ve problemi daha iyi ele alma amacıyla Bulanık AHP ile kesin değerler yerine belirli bir aralık tanımlanmıştır.

3.4.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP)

Bazı problemlerde karar vericilerin net olarak matematiksel sayıları kullanarak gerçekleştiremediği değerlendirmelerde belirsizlik ve karmaşıklıkların olduğu bulanık (fuzzy) yöntemlere ihtiyaç duyulabilmektedir (Erik, 2005). Bulanık Mantık kavramları kategorize etmemize yardımcı olur. Bir durumu ya da niteliği belirlerken büyük, eşit, küçük gibi kavramların yanında daha büyük, eşit veya daha küçük şeklinde tanımlamamıza yardımcı olur. Bu tanımları yaparken temel unsur olarak Bulanık kümeleri kullanır. Bulanık Küme kavramı literatürde ilk olarak 1965 yılında Azerbaycan asıllı Prof. Dr. Lütü A. Zadeh "Fuzzy Set" makalesinde ortaya konulmuştur (Ödük, 2019).

Bulanık mantık gündelik konuşma dilimizde olan sözlü belirsiz durumları değerlendirmemize imkân tanır. Genelde insanlar tanımlarını belirsiz ve sayısal değerler ile tanımlanması güç bulanık ve belirsizdir. Karar vericilerin kararlarını modellerken sözel değişkenler kullanmak daha uygun ve gerçekçi bir sonuç verecektir. Bulanık mantık bu

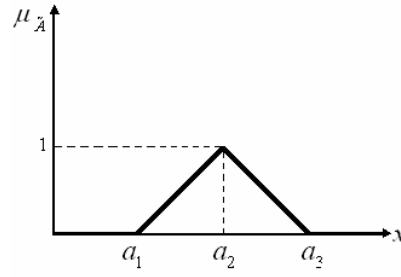
doğrultuda sözel değişkenlerin kullanılmasına izin vererek diğer mantık sistemlerinden farklılığını ortaya koyar (Li ve Yang, 2004).

Çok kriterli karar verme yöntemleri de bu bağlamda Bulanık AHP, Bulanık ELECTRE, Bulanık TOPSIS olmak üzere yeniden geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında kriterlerin önceliklendirmesinde Bulanık AHP yöntemi tercih edilmiştir.

Bulanık AHP yöntemi, Van Larhooven ve Pedrycz tarafından 1983 yılında ortaya çıkarılmıştır ve üçgensel üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış bulanık oranlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra Buckley (1985), Chang (1996), Boender, Deng, Bulanık AHP'ye yönelik farklı yaklaşımlar kullanmışlardır (Çitli, 2006). Buckley (1985), karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini yamuksal üyelik fonksiyonları ile belirtmiştir. Chang (1996), bulanık AHP'yi ele almak için, bulanık AHP'nin ikili karşılaştırma ölçeği için, üçgensel bulanık sayıların kullanımı ve ikili karşılaştırmaların sentetik derece değeri için derece analiz yönteminin kullanımı ile yeni bir yaklaşım sunmuştur (Büyüközkan vd., 2004).

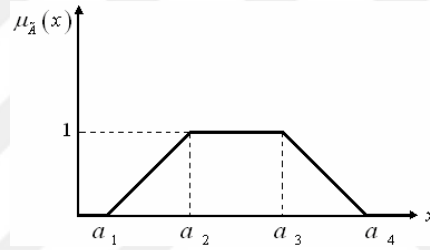
Klasik AHP'de Saaty skalasında yer alan 1'den 9'a kadar olan değerlendirme kullanılırken, Bulanık AHP'de karar vericinin nitel değerlendirme yapmakta zorlanması problemini giderebilmek adına karşılaştırma yapılırken bulanık sayı kümeleri kullanılmaktadır (Susuz, 2005). Bulanık küme, 0 ve 1 arasında değişen sayılarla tanımlanabilen fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Bulanık sayı ise bulanık kümedeki gerçel sayılarla tanımlanmış bulanık küme olarak tanımlanmaktadır. Bulanık sayılar, üçgen bulanık sayılar ve yamuk bulanık sayılar olarak ikiye ayrılmaktadır (Aydın, 2018).

Üçgen bulanık sayılar, en küçük değer, en büyük değer ve en geniş değer olarak tanımlanmış olan (a_1, a_2, a_3) şeklinde üç parametrelidir (Çitli, 2006).



Şekil 3.5. Üçgen bulanık sayıların grafiği (Çitli, 2006)

Yamuk bulanık sayılar ise, (a_1, a_2, a_3, a_4) biçiminde dört parametre alacak şekilde tanımlanırlar. Birinci parametre alınabilecek en küçük değeri, ikinci parametre büyüklüğün alabileceği en küçük değeri, üçüncü parametre büyüklüğün alabileceği en büyük değeri, dördüncü parametre alınabilecek en geniş değeri belirtmektedir (Çitli 2006).



Şekil 3.6. Yamuk bulanık sayılar grafiği (Çitli, 2006)

Şekil 3.5'te üçgen bulanık sayıların fonksiyon grafiği ve Şekil 3.6.'da yamuk bulanık sayıların fonksiyon grafiğine yer verilmiştir.

Değişkenlerin her zaman sayısal değerlerle ifade edilebilmesi mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda sayısal değerlere karşılık gelen dilsel ifadelerden faydalanılabilmektedir. Çalışmada kriterlerin ağırlıkları ve etkilerini değerlendirebilmek için karar vericiye “X sizin için Y’den ne kadar önemlidir?” sorusu sorulmuştur ve Çizelge 3.11.’de yer alan dilsel değişkenlere karşı gelen üçgen bulanık sayılar verilmiştir (Liu vd., 2015).

Çizelge 3.11. Dilsel ifadeler karşılık gelen bulanık üçgensel sayılar ve bu sayıların tersi

Dilsel ifadeler	Bulanık üçgensel sayılar	Bulanık üçgensel sayıların tersi
Eşit önemli (EÖ)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Az önemli (AÖ)	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1)
Önemli (Ö)	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Daha önemli (DÖ)	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Kesinlikle daha önemli (KDH)	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)

Bulanık AHP yöntemini uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1. Değerlendirmeyi gerçekleştirecek konuda uzman kişilerden bir grup oluşturulması.

Adım 2. Kararı verilecek problemin amacının, ana kriterlerin, varsa alt kriterlerin belirlenmesi ve hiyerarşik yapının oluşturulması

Adım 3. Kriterlerin değerlendirilmesi için ikili karşılaştırma matrislerinin düzenlenmesi ve matrislerin bulanık sayılara dönüştürülmesi.

Adım 4. Alt kriterlerin var olduğu durumda, belirlenen ana kriterler ve alt kriterlerin bulanık ağırlıkları kullanılarak, alt kriterler global bulanık ağırlıkların hesaplanması.

Adım 5. Her bir alternatif için bulanık önceliklerin hesaplanması.

Adım 6. Değerlerin normalizasyon işleminin yapılması.

Adım 7. Alternatiflerin öncelik sıralamalarının belirlenmesi ve sıralanması (Çakar, 2020).

Bulanık AHP uygulamasında birden fazla yöntem ve bulanık sayı kümesi kullanılabilmektedir. İzleyen kısımda Larhooven ve Pedrycez, Buckley ve Chang'ın yaklaşımları hakkında bilgi verilecek ve çalışma kapsamında Chang'ın genişletilmiş analiz yöntemi kullanılacaktır.

3.4.2.1. Laarhoven ve Pedrycez yaklaşımı

Laarhoven ve Pedrycez, Saaty'nin geliştirmiş olduğu AHP'nin genişletilmiş versiyonu olan bir algoritma tasarlamışlardır. Klasik AHP'de ikili karşılaştırmalar yapılırken sayılar direkt olarak ifade edilemediğinden, bu yaklaşımda karşılaştırma matrisinde bulanık sayıların ifadesinde üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Karşılaştırma adımları aynen

klasik AHP’de olduğu gibi yapılmaktadır. Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans ağırlıklarını elde etmek için Lootsma’nın logaritmik en küçük kareler metodunu kullanmışlardır.

3.4.2.2. Buckley yaklaşımı

Buckley ise 1985 yılında Saaty’nin Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemini genişletmek için bulanık karşılaştırma oranlarını kullanmıştır. Buckley (1985)’e göre Laarhoven ve Pedrycz’in geliştirmiş olduğu model, kullandıkları lineer denklemlerin her defasında tek bir çözümünün olmaması ve ağırlıkların hesaplanmasında üçgensel bulanık sayıların kullanılması yönünden problemlidir. Buckley, bu iki probleme karşılık bulanık ağırlıkları ve performans puanlarını geometrik ortalama metodu ile elde etmiş ve üçgensel bulanık sayılar yerine yamuk bulanık sayıları kullanmıştır. Bu şekilde bulanık durumların genişletilmesinin daha kolay olduğunu ve karşılaştırma matrislerinden elde edilen çözümün tek olduğunu savunmuştur (Chen vd., 1992).

3.4.2.3. Chang’ın Genişletilmiş Analiz Yöntemi

Chang (1996), bulanık AHP’yi ele alırken ikili karşılaştırma skalası için üçgensel bulanık sayıları kullanmıştır ve Derece Analiz Metodu (Extent Analysis Method) olarak da isimlendirilen bu yöntemde ikili karşılaştırmaların sentetik derece değerleri için kullanılmasını içeren yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur (Büyüközkan vd., 2004).

Chang’ın geliştirdiği Bulanık AHP yaklaşımının, diğer Bulanık AHP yaklaşımlarına göre karmaşık matematiksel hesaplar içermemesi nedeniyle daha kullanışlı ve kolay uygulanabilir olduğu düşünülmektedir. Chang tarafından geliştirilen ve Bulanık AHP uygulamasında üçgen bulanık sayıları kullanan bu yöntem dört adımdan oluşmaktadır.

$X=\{x_1,x_2,...,x_n\}$ nesneler kümesi ve $G=\{g_1,g_2,...,g_m\}$ amaç kümesi kabul edildiğinde, M tane genişletilmiş analiz değeri şu şekilde gösterilmektedir:

$$M_{gi_1}, M_{gi_2}, \dots, M_{gi_m}, i = 1, 2, \dots, n$$

Burada tüm M_{gi}^j ($j = 1, 2, \dots, m$) değerleri üçgensel bulanık sayıları ifade etmektedir.

Adım 1: Kriter i 'ye göre bulanık sentetik büyüklük değeri Eşitlik (3.10)'a göre hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (3.10)$$

$S_i = i$. amacın sentetik büyüklük değeri ve M_{gi}^j = Her bir amaca göre genişletilmiş analiz değerini göstermektedir. Eşitlik (3.10)'da yer alan denklem bileşenleri aşağıdaki gibidir.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3.11)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (3.12)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (3.13)$$

Adım 2: Bulanık değerleri Eşitlik (3.11), Eşitlik (3.12) ve Eşitlik (3.13)'e göre hesapladıktan sonra, bulunan değerlerin karşılaştırılması sonucunda kriterlerin ve alternatiflerin olabilirlik değerleri olan V değeri elde edilir.

$M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ve $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ iki üçgensel bulanık sayı olmak üzere $M_2 \geq M_1$ eşitliğinin olabilirlik derecesi aşağıda gösterilmiştir:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup [\min \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)]$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \begin{cases} 1, & \text{eğer } M_2 \geq M_1 \\ 0, & \text{eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer} \end{cases}$$

Adım 3: Konveks olan bir bulanık sayının k adet bulanık sayıdan $M_i = (i=1, 2, 3, \dots, k)$ büyük olabilirlik derecesi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

M_1 ve M_2 'yi karşılaştırabilmek için hem $V(M_1 \geq M_2)$ hem de $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Konveks bir bulanık sayının k adet bulanık sayıdan, M_i ($i=1, 2, \dots, k$), daha büyük olma ihtimali şu şekilde tanımlanır:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] \\ \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k$$

S_j 'ler için aşağıdaki varsayımlar yapılabilir. Bu varsayımlar şöyledir:

$$k=1,2,3,\dots,n \text{ } k \neq j \text{ için } d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$$

Ağırlık vektörü A_i ($i=1,2,3,\dots,n$) elemandan oluşması sebebiyle aşağıdaki Eşitlik (3.14)'teki gibi ifade edilir.

$$W = ((d(A_1), d(A_2), d(A_3), \dots, d(A_n)))^T \quad (3.14)$$

Adım 4: Normalizasyon yöntemiyle normalize edilmiş olan ağırlık vektörü (W) aşağıdaki gibi ifade edilir ve buradaki ağırlık vektörü W bulanık bir sayı değildir (Kahraman vd., 2004).

$$W = (d(A_1), d(A_2), d(A_3), \dots, d(A_n))^T$$

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. İşletmenin Tanıtımı, Üretim ve Kalite Süreci

X Yazılım ve Otomasyon Sistemleri Elektrik Elektronik Bilgisayar Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, 2009 yılında Çerkezköy/Tekirdağ bölgesinde otomasyon sistemleri tasarımı ve PCB (Baskılı Devre Kartı veya Elektronik Devre Kartı) tasarımı, üretimi ve programlaması üzerine faaliyet gösteren toplamda 10 adet çalışana sahip olan küçük ölçekli bir işletmedir. X Firması, dönemlik olarak farklı müşterilere partiler halinde PCB üretimi gerçekleştirmektedir. Çalışma kapsamında 2022-2023 döneminde sürekli üretilmiş ve halen Y Firması'na 10.000 adetlik partiler halinde üretimi yapılan akülü araba baskı devre kartları ele alınmıştır. Akülü arabaların çocuklar tarafından kullanıldığı göz önüne alındığında, akülü arabaların kasa bileşenleri harici PCB'lerde müşteriye ulaştıktan sonra meydana gelen hatalar riskli ve ciddi sonuçlara yol açabilmektedir. Akülü araba baskı devre kartlarının üretim sürecinin temel aşamaları Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Akülü araba baskı devre kartı üretim aşamaları

X Firması, müşterinin üründe talep ettiği özelliklere ve baskı devre kartının gerekliliklerine göre PCB tasarımını gerçekleştirdikten sonra SMD (Yüzey Montaj Devre Elemanları) elemanlarının otomatik makinelerde PCB'ye montajlanması, ardından Dip elemanlarının manuel olarak montajlanması, komponentlerin tamamının montajlandığı

PCB'nin dalga lehim potasından geçirilmesi, PCB'nin fonksiyonunu yerine getirebilmesi için tasarımı esnasında programlanan yazılımın yüklenmesi ve müşteriye teslim edilmek üzere paketlenmesi aşamalarını sırayla gerçekleştirmektedir.

Tasarım ve üretim aşamaları sırasında mühendisler ve çalışanlar tarafından farklı kontrol süreçleri gerçekleştirilmektedir. PCB tasarımından önce doğru malzeme kullanıldığına dair malzeme kontrolü, PCB tasarımından sonra yazılımının yüklenerek akülü araçta fiziki numune testleri, SMD ve Dip malzemelerin montajı esnasında ve sonrasında göz kontrolü, dalga lehim pota işleminden sonra eksik veya soğuk lehim kontrolü, yazılım yüklendikten sonra örneklem alma suretiyle tekrar fiziki araç testleri uygulanmaktadır. Elektronik devre kartı üretim sürecinin kontrol noktaları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Elektronik devre kartı üretim sürecinin kontrol noktaları

Üretim veya kontrol sürecinde tespit edilen hatalar tamir edilebilir düzeyde ise tamir edildikten sonra tekrar test edilmektedir. İşletme içerisinde tespit edilemeyen ve fiziki test esnasında kartın yanması gibi tamir edilemeyecek şekilde sonuçlanan durumlarda kartlar hurdaya ayrılmaktadır. Akülü arabalara kartın montajını gerçekleştiren Y Firması'na teslim edildikten sonra firmada yapılan testler ve Y Firması'nın son kullanıcıya satışı sonrasında, fonksiyonunu yerine hiç getirmeyen veya fonksiyonunu yerine doğru şekilde getirmeyen kartlar X Firmasına geri fatura edilerek tamir edilmekte, tamir edilemeyecek düzeye gelen kartlar ise hurdaya ayrılmakta ve kullanıcıda risk oluşturmaktadır. Y Firması'ndan X Firması'na yapılan geri dönüş raporları aracılığıyla hata yüzdeleri tespit edilebilmekte, hata nedenleri ise X Firması'nda yapılan tamir esnasında belirlenebilmektedir. Kronikleşen hatalar arttığında veya riskli hataların meydana gelme sıklığı arttığında Y Firması ile ortak çalışmalar yürütülerek PCB tasarımında revizyona veya malzeme değişikliğine gidilmektedir. Bunun sonucunda, tüm numune testleri tekrar yapılarak parti üretimine geçilmeden yapılan iyileştirmelerin sürdürülebilirliğini sağlamak amaçlanmaktadır. Çizelge 4.1.'de 2022 yılında altıncı 10.000 adetlik parti üretiminde Y Firması'ndan sağlanan geri dönüş hata tipleri, hata sayıları ve hata oranlarına yer verilmiştir.

Çizelge 4.1. 2022 yılının altıncı 10.000 adetlik parti üretiminde hata tablosu

P-06 (2022)		
Üretim miktarı	10.000	
Hata oranı	5,22%	
Hata tipi	Hata sayısı	Hata oranı
Aşırı ısınma	234	44,83%
Enerji verilince direkt çalışma	58	11,11%
Hiç çalışmama	47	9,00%
Geri viteste arka lambanın yanmaması	39	7,47%
Geri viteste ön lamba yanmaması	39	7,47%
Ön ve arka lambaların yanmaması	32	6,13%
Fren ve turbo özelliğinin çalışmaması	22	4,21%
Akü/motor soketinin erimesi	18	3,45%
Hurda (yanma kaynaklı)	16	3,07%
Geri viteste geri gitmeme	10	1,92%
İleri viteste ileri gitmeme	7	1,34%
Toplam hata sayısı	522	100,00%

Çizelge 4.2.'de 2023 yılının birinci 10.000 adetlik parti üretimine ait Y Firması'ndan dönüş yapılan hata sayıları ve oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.2. 2023 yılının birinci 10.000 adetlik parti üretiminde hata tablosu

P-01 (2023)		
Üretim miktarı	10.000	
Hata oranı	5,35%	
Hata tipi	Hata sayısı	Hata oranı
Aşırı ısınma	256	47,85%
Enerji verilince direkt çalışma	54	10,09%
Hiç çalışmama	41	7,64%
Geri viteste arka lambanın yanmaması	31	5,79%
Geri viteste ön lamba yanmaması	31	5,79%
Ön ve arka lambaların yanmaması	31	5,79%
Fren ve turbo özelliğinin çalışmaması	27	5,05%
Akü/motor soketinin erimesi	22	4,11%
Hurda (yanma kaynaklı)	18	3,36%
Geri viteste geri gitmeme	12	2,24%
İleri viteste ileri gitmeme	12	2,24%
Toplam hata sayısı	535	100,00%

Çizelge 4.3.'te ise 2023 yılının ikinci 10.000 adetlik parti üretiminde Y Firması'ndan sağlanan geri dönüş hata tipleri, hata sayıları ve hata oranlarına yer verilmiştir. X Firması üretim sürecinde kendi içerisindeki analiz ve testlerinde tespit edilen hata tipleri ve oranlarının da benzer olduğu bilinmektedir.

Çizelge 4.3. 2023 yılının ikinci 10.000 adetlik parti üretiminde hata tablosu

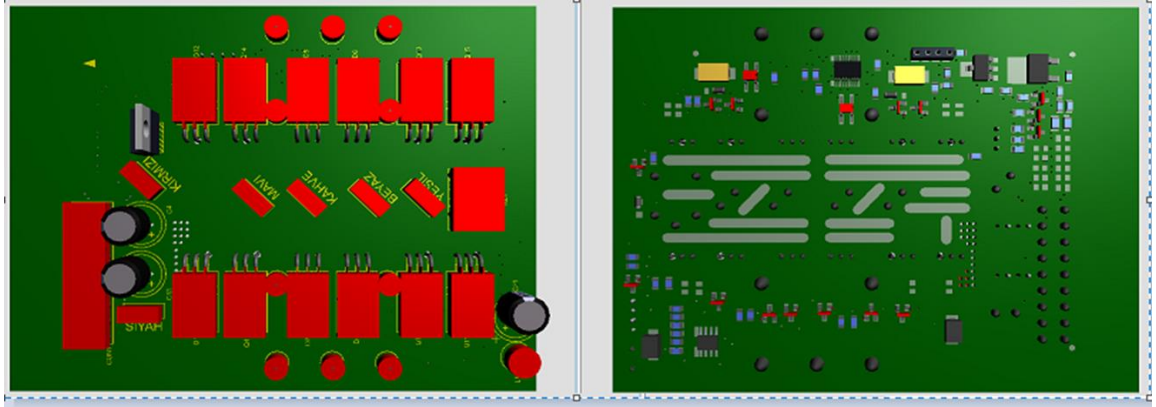
P-02 (2023)		
Üretim miktarı	10.000	
Hata oranı	5,21%	
Hata tipi	Hata sayısı	Hata oranı
Aşırı ısınma	231	44,34%
Enerji verilince direkt çalışma	60	11,52%
Hiç çalışmama	45	8,64%
Geri viteste arka lambanın yanmaması	33	6,33%
Geri viteste ön lamba yanmaması	33	6,33%
Ön ve arka lambaların yanmaması	28	5,37%
Fren ve turbo özelliğinin çalışmaması	23	4,41%
Akü/motor soketinin erimesi	21	4,03%
Hurda (yanma kaynaklı)	19	3,65%
Geri viteste geri gitmeme	14	2,69%
İleri viteste ileri gitmeme	14	2,69%
Toplam hata sayısı	521	100,00%

P-06 (2022), P-01 (2023) ve P-02 (2023) parti üretimlerinin hata tabloları incelendiğinde hata tiplerinin farklı üretim dönemlerinde aynı sıralama ve ortalama aynı hata sayısına sahip olduğu görülmektedir. En büyük riski oluşturan yanma kaynaklı hurda sayısı yüzde olarak düşük olsa da aşırı ısınma hata tipinin en yüksek hata yüzdesine sahip olması, akülü arabaların Y Firması'ndan müşteriye tesliminden sonra aşırı zorlama kullanımlarda önemli derecede risk yaratacağına işaret eder. Aynı şekilde ileri ve geri vites hallerinde lambaların hiç veya doğru şekilde yanmaması çevresel risk faktörlerini arttıracaktır. En yüksek orana sahip hataların önlenmesi, riskin azaltılması hatta mümkünse minimum kabul edilebilir düzeye indirilmesi, sonraki dönem üretimlerde yapılacak iyileştirme kararlarının sistematik hale getirilmesi ve buna bağlı olarak kalitesizlik maliyetlerinin azaltılması amacıyla müşteri memnuniyetini arttırmak hedeflenmiştir. Amaçlar doğrultusunda başlangıç noktası olarak 2022 yılında üretilen P-06 ve 2023 yılında P-01 ve P-02 parti kodlu son iki 10.000 adetlik üretimin Y Firması'ndan geri dönüş oranları ele alındığında X firmasında hata sebepleri ve hata kaynakları analiz edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Hata sebepleri ve hata kaynakları

Hata tipi	Hata sebebi	Hatanın kaynağı
Aşırı ısınma	Montaj vidasının doğru sıkılmaması	Operatör hatası
	Soğuk lehim	Lehim potası ayarsız
	Kısa devre	Lehim potası ayarsız
	Açık devre	Lehim potası ayarsız
	Terminal soketlerinin gevşek olması	Operatör hatası
	Eksik komponent	Dizgi makinası hatası
	Yanlış komponent	Dizgi makinası hatası
	Silikon izolatörün hatalı monte edilmesi	Operatör hatası
Enerji verilince direkt çalışma	Mosfetin çalışmaması	Tasarım hatası
Hiç çalışmama	İşlemcinin çalışmaması	Lehim potası ayarsız
		Tasarım hatası
	Voltaj regülatörünün çalışmaması	Lehim potası ayarsız
		Tasarım hatası
Lambaların yanmaması	Lambanın çalışmaması	Komponent kalitesi düşük
	Yazılımın doğru çalışmaması	Yazılım hatası
Fren ve turbo özelliğinin çalışmaması	Eksik komponent	Dizgi makinası hatası
	Yazılımın doğru çalışmaması	Yazılım hatası
Akü/motor soketinin erimesi	Aşırı akım	Komponent kalitesi düşük
		Tasarım hatası
Hurda	Darbe/hasar görmesi	Müşteri hatası
	Aşırı ısınma kaynaklı yanma	Aşırı ısınma hataları
Vites fonksiyonlarının yerine gelmemesi	Yazılımın doğru çalışmaması	Yazılım hatası

Çizelge 4.4.'te Y Firması'nın iade veya tamir amaçlı geri gönderdiği elektronik baskı kartlarında meydana gelen hata tiplerine sebep olan etmenler listelenmiş ve buna sebep olan/olabilecek hata kaynakları tespit edilmiştir. Operatör hatası, tasarım hatası, yazılım hatası, lehim potası hatası, dizgi makinası hatası, komponent kalitesi hatası ve müşteri hataları ön plana çıkmaktadır. Hataların önlenebilmesi için hatanın kaynağını bulmak elbette ki önemlidir fakat sınırlı olan kaynakları verimli ve etkin şekilde kullanarak maksimum fayda sağlayacak, kalitesizlik maliyetlerini azaltacak, müşterinin beklentilerini karşılayacak, önceliği nicel olarak karar verilmiş iyileştirmeleri yapmak asıl önemli olan husustur. Şekil 4.3.'te halihazırda üretimi gerçekleştirilen PCB'nin tasarımını verilmiştir.



Şekil 4. 3. Kalite iyileştirme faaliyetleri öncesi PCB tasarım şeması

4.2. Kalite Maliyetlerinin Muhasebeleştirilmesi

Çalışma kapsamında yapılacak kalite iyileştirme faaliyetlerinin sistematik bir şekilde seçilmesi sonucu sağlanan faydaların kalite maliyetleri ve toplam maliyetler üzerinde etki etmesi beklenmektedir. Bu nedenle gerçekleştirilen faaliyetlerin kalite maliyetleri üzerinde etkisini izlemek adına PAF Modeli ile iyileştirme faaliyetleri öncesi P-01 parti üretimi dönemine ait kalite maliyet muhasebesi gerçekleştirilmiştir. Kalite maliyetlerinin hesaplanmasında; işletmenin sunmuş olduğu maaş bordroları, çalışan sayısı, gider faturaları, birim maliyetler, zaman ölçümleri, firma iç hata oranları, müşteri hata oranları gibi bilgi ve belgeler kullanılmıştır. Ayrıca kalite maliyet kalemleri firmanın işleyişine göre şekillendirilmiştir.

4.2.1. Önleme maliyetleri

Firmanın yapısı, üretim ve kalite sürecine göre önleme maliyetleri; Kalite Planlaması Maliyetleri, Kalitenin Gözden Geçirilmesi ve Tasarımın Doğrulanması, Kalite Ölçüm ve Test Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı, Kalite Değerlemesinde Kullanılan Üretim Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı, Kalite Eğitimi Maliyeti alt başlıklarında hesaplanmıştır.

- Kalite Planlaması Maliyetleri, P-01 parti üretim süreci boyunca kalite geliştirmeye yönelik hammadde, ekipman ve üretimde herhangi bir değişikliğe gidilmediğinden, kalite planlama faaliyetlerini gerçekleştiren bir müdür ve iki mühendisin, bir parti üretim kalitesi planlaması için yaptıkları toplantı ve değerlendirme sürelerinin hesaplanmasıyla elde edilmiştir.

- Kalitenin Gözden Geçirilmesi ve Tasarımın Doğrulanması maliyetleri, her parti üretimi öncesi gerçekleştirilen bir önceki partiye ait iç hata oranları ve müşteriden gelen hata oranlarının analiz edilmesi ve yapılabilecek iyileştirme veya hammaddelerin görüşülmesi amacıyla firma içi bir müdür ve iki mühendisin çalışma süreleri, ayrıca müşteri toplantıları için harcanan tutarlar ile hesaplanmıştır.

- Kalite Ölçüm ve Test Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı maliyetlerinin hesaplanmasında, ürünün kalitesini ölçmede farklı aşamalarda kullanılan test aracı, akü, kablo tesisatı, elektriksel ölçüm teçhizatları gibi ekipmanların her parti üretiminden önce test esnasında doğru şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla yapılan giderler ve ayar ve bakım için iki mühendis ve iki teknisyenin harcadıkları zamanların maliyetleri kullanılmıştır.

- Kalite Değerlemesinde Kullanılan Üretim Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı maliyetleri ile ilgili giderler üretimde kullanılan lehim potalama makinesi, manuel lehim seti gibi periyodik bakım gerektiren ekipmanların ayar ve bakımı gerçekleştiren iki mühendis ve iki teknisyenin çalışma maliyetidir. Ayrıca ayar ve bakım için dış teknik ekipten alınan hizmet faturaları da eklenmiştir.

- Kalite Eğitimi Maliyeti hesaplamasında, hususi olarak bir eğitim verilmemekte birlikte her partide kalite kontrol talimatlarının tekrar gözden geçirilmesi ve duyurulması amacıyla gerçekleştirilen toplantıların 10 çalışan üzerinden zaman maliyeti ele alınmıştır.

Çizelge 4.5.'te Önleme Maliyetleri kategorisinde yer alan maliyet kalemleri ve ilgili üretim sürecinde harcanan tutarlar yer almaktadır. Buna göre önleme faaliyetleri için harcanan tutar: 22.478,79 ₺'dir.

Çizelge 4.5. P-01 parti üretimi döneminin önleme maliyetleri

ÖNLEME MALİYETLERİ	TUTAR	%
Kalite Planlaması Maliyetleri	1.568,18 ₺	10%
Kalitenin Gözden Geçirilmesi ve Tasarımın Doğrulanması	6.697,73 ₺	30%
Kalite Ölçüm ve Test Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı	5.402,27 ₺	24%
Kalite Değerlemede Kullanılan Üretim Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı	6.522,73 ₺	29%
Kalite Eğitimi Maliyeti	2.287,88 ₺	7%
TOPLAM ÖNLEME MALİYETİ	22.478,79 ₺	100%

4.2.2. Ölçme-değerlendirme maliyetleri

Kaliteyi ölçme ve değerlendirme maliyetleri kategorisinde yine firma işleyişine bağlı olarak Teslim Alma (Kabul) Muayenesi, Üretim Öncesi Doğrulama, Muayene ve Test Maliyetleri, Muayene ve Test Esnasında Tüketilen Materyaller, Saha Performans Testleri, Test ve Kontrol Sonuçlarının Analizi ve Raporlanması ve Stok Kontrolü kalemlerinin hesabı gerçekleştirilmiştir.

- Teslim Alma (Kabul) Muayenesi maliyeti, tedarikçiden gelen hammaddelerin, belirli bir yüzdede kusurlu ürün gönderdiği bilincinde, iki işçinin örneklem alma suretiyle elektriksel ölçümünü gerçekleştirme için harcadıkları zamanın maliyetidir.

- Üretim Öncesi Doğrulama maliyeti, SMD dizgiden sorumlu alt firmanın malzeme kalitesi konusunda yükümlülük kabul etmemesi nedeniyle SMD dizgiye gönderilmeden önce doğru ve kusuru olmayan malzemelerin hazırlanması için iki teknisyenin çalışma süreleri maliyeti, ayrıca SMD dizgiden gelen PCB'lerin dip dizgi üretim sürecinden önce örneklem alarak kontrorlünü sağlayan iki teknisyen ve iki mühendisin çalışma süreleri maliyetleri toplamıdır.

- Muayene ve Test Maliyetleri, her işlem sonrası kalite kontrol aşamalarına ait talimatların iki teknisyen ve üç işçi tarafından yerine getirilme süresi maliyetidir.

- Muayene ve Test Esnasında Tüketilen Materyallerin maliyeti, lehim kontrol sürecinde harcanan teknik malzemelerin maliyeti, test aracı esnasında tüketilen akülerin dolum maliyetleri, yazılım yükleme kontrolü esnasında harcanan enerji maliyetleri ve sarf malzemelerden oluşmaktadır.

- Saha Performans Testleri maliyeti ise, parti üretimi bitiminde müşteri firmaya yapılan ziyaretler ve firmada da test gerçekleştirilmesi için katlanılan maliyettir.

- Test ve Kontrol Sonuçlarının Analizi ve Raporlanması maliyetleri, bir işçinin her üretim ve kontrol süreci takibi sonucunda hata sayılarını ve türlerini raporlama işi için harcadığı sürenin maliyetidir.

- Stok Kontrolü maliyeti, malzeme siparişleri belirli bir rutinde verilmediğinden ve hata kaynaklı yeniden işlemlerde fazladan malzeme kullanılabildiğinden, bir sonraki parti üretimine geçilmeden iki işçinin malzeme sayımı gerçekleştirdiği ve raporladığı sürenin karşı geldiği maliyettir. Ölçme ve değerlendirme maliyet tablosu Çizelge 4.6.'daki gibidir. Buna göre ölçme ve değerlendirme faaliyetleri için katlanılan maliyet, 9.015,78 ₺'dir.

Çizelge 4.6. P-01 parti üretimi döneminin ölçme ve değerlendirme maliyetleri

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME MALİYETLERİ	TUTAR	%
Teslim Alma (Kabul) Muayenesi	795,45 ₺	9%
Üretim Öncesi Doğrulama	1.590,91 ₺	18%
Muayene ve Test Maliyetleri	2.102,27 ₺	23%
Muayene ve Test Esnasında Tüketilen Materyaller	338,00 ₺	4%
Saha Performans Testleri	3.172,73 ₺	35%
Test ve Kontrol Sonuçlarının Analizi ve Raporlanması	220,96 ₺	2%
Stok Kontrolü	795,45 ₺	9%
TOPLAM ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME MALİYETİ	9.015,78 ₺	100%

4.2.3. Başarısızlık maliyetleri

Firmanın başarısızlık maliyetleri, PAF Maliyet Modeli gereği içsel başarısızlık ve dışsal başarısızlık maliyetleri olarak ikiye ayrılmıştır. İlgili maliyet kalemleri bu başlıklar altında incelenmiş ve hesaplanmıştır.

4.2.3.1. İçsel başarısızlık maliyetleri

Firma içerisinde üretim veya kalite kontrol sürecinde karşılaşılan hatalar nedeniyle yapılan harcamalar bu kategoride ele alınmıştır. İçsel başarısızlık maliyetleri hesaplanmasında, Fire/Hurda Maliyeti, Yeniden İşleme Maliyeti, Değişim İzinleri ve İmtiyazlar, Tedarikçi Hataları, Muayene ve Test Tekrarları ve Zaman Kayıpları olmak üzere altı maliyet kalemi uygun görülmüştür.

- Fire/Hurda Maliyeti, X Firması içerisinde kalite kontrol gerçekleştirilirken fark edilen veya sebep olunan hurdaya ayrılan ürünlerin birim maliyet üzerinden hesaplanmasıyla elde edilmiştir.

- Yeniden İşleme Maliyeti, kalite testleri esnasında fonksiyonunu tam olarak yerine getirmediği tespit edilen ürünlerde yapılan tamirlerin maliyetidir. Değiştirilen malzemenin tutarı ve yardımcı malzemelerden oluşmaktadır.

- Değişim İzinleri ve İmtiyazlar, firma içerisinde tespit edilen ve tekrarlayan hatalarda bir örüntü olup olmadığını tespit etmek, ürünün tasarımı veya kullanılan malzemeden kaynaklı problemi giderebilmek için ürün ağacı dışına çıkılarak istenilen sonuca uygun malzeme değişikliğine gidilebildiğinden, bu durumlarda sorumlu olan teknisyenlerin harcadığı zaman maliyetlendirilmiştir.

- Tedarikçi Hataları maliyetinde, tedarikçiden gelen hammaddelerin belirli bir yüzdede kusurlu olduğu bilindiğinden, bir parti üretimi boyunca ortalama kusurlu parça sayısının maliyeti hesaplanmıştır.

- Muayene ve Test Tekrarlarının, ürünlerin üretime geri dönmesi ve yeniden işlemler gerçekleştiğinde yapılan analizler ve tamir süreci sonunda standart kalite kontrol sürecinden

farklı olarak tek tek ve daha uzun sürede test edildiğinden, örneklem test sürecine benzer maliyet oluşturduğu tespit edilmiştir.

- Zaman Kayıpları maliyeti, üretimde veya test esnasında fark edilen tekrarlı hataların üretimi durdurması söz konusu olabildiğinden, bu sürenin maliyeti hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7.'de içsel başarısızlık maliyet hesaplaması verilmiştir. Çizelgeye göre dönemin içsel başarısızlık maliyetleri toplamı 16.969,07 ₺'dir.

Çizelge 4.7. P-01 parti üretimi döneminin içsel başarısızlık maliyetleri

İÇSEL BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ	TUTAR	%
Fire/Hurda Maliyeti	1.121,63 ₺	7%
Yeniden İşleme Maliyeti	1.950,00 ₺	11%
Değişim İzinleri ve İmtiyazlar	909,09 ₺	5%
Tedarikçi Hataları	590,63 ₺	3%
Muayene ve Test Tekrarları	2.102,27 ₺	12%
Zaman Kayıpları	10.295,45 ₺	61%
TOPLAM İÇSEL BAŞARISIZLIK MALİYETİ	16.969,07 ₺	100%

4.2.3.2. Dışsal başarısızlık maliyetleri

Ürünlerin müşteriye teslimi ve müşteri olan Y Firması'nın kendi üretim sürecini gerçekleştirmesi esnasında ortaya çıkan ve X Firması'nın müşteri memnuniyetini karşılama sorumluluğu nedeniyle karşılaştığı maliyetler, dışsal başarısızlık maliyetleri altında hesaplanmış ve Hurda ve İadeler, Garanti Kapsamında Tamir ve Onarımlar, Şikayetler, Müşteri ile Temas Sağlama Maliyetleri ve Nakliye Maliyetleri olarak sınıflandırılmıştır.

- Hurda ve İadeler maliyetleri, Y Firması'nın testlerinde ortaya çıkan ve genellikle PCB'nin yanması sonucu oluşan ve X Firması'na geri iade edilen ürünlerin toplam maliyetidir ve P-01 üretim döneminde iade edilen ürünlerin maliyeti hesaplanmıştır.

- Garanti Kapsamında Tamir ve Onarımlarda, X Firması, anlaşma gereği Y Firması'nda karşılaşılan tüm hatalardan sorumlu olduğundan, parti başına hurdalar harici bildirdiği sayıda hatalı ürünü X Firması'na göndererek tamir edilmiş ve çalışır vaziyette geri

almaktadır. Söz konusu ürünlerin maliyet hesaplamasında P-01 üretim sürecinde tamir sayısı ve ortalama tamir maliyetleri baz alınmıştır.

- Şikayetler, yine firmalar arası anlaşma gereği müşteri memnuniyetini sağlama amaçlı hurda ürünlerin adedi kadar yeniden üretimi ile giderilmektedir. Bu sebeple, bu miktardan zarar edilen kâr payı ve tekrar üretim maliyeti bu kalemde hesaplanmıştır.

- Müşteri ile Temas Sağlama Maliyetleri, Y Firması'nda oluşan hatalar sonrası bu hataları bildirme, analiz etme, hatalı ürünleri geri gönderme, hurda ve yeniden işlemlerin kararını verme, yeniden nakletme gibi iletişim durumları için ayrılan zaman ve sabit giderleri içermektedir.

- Nakliye Maliyetleri, hurda ve iadelerin X Firması'na geri gönderilmesi, hurdaların yerine yeni ürünün üretilerek ve tamir edilebilecek iade ürünlerin tamir edilerek Y Firması'na geri gönderilmesi kargolama maliyetlerini içermektedir ve bu maliyetleri X Firması üstlenmiştir. Dönem içerisinde kargolama faturaları işlenmiştir.

P-01 üretim dönemine ait maliyet kalemlerine göre dışsal başarısızlık maliyet tablosu Çizelge 4.8.'deki gibidir. Çizelgeye göre dışsal başarısızlığın yarattığı maliyet, 34.080,02 ₺ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. P-01 parti üretimi döneminin dışsal başarısızlık maliyetleri

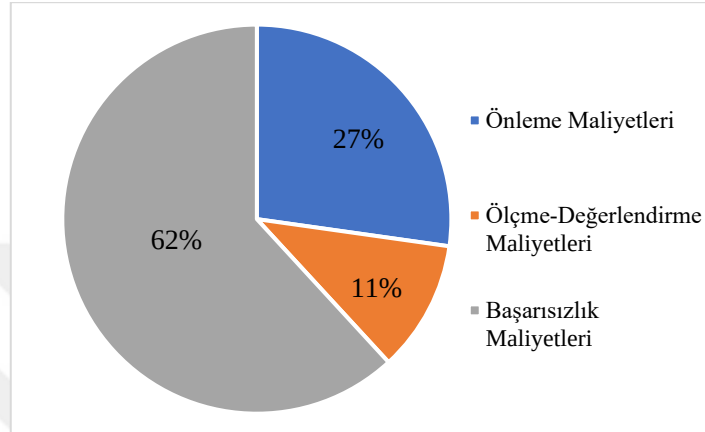
DIŞSAL BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ	TUTAR	%
Hurda ve İadeler	6.619,80 ₺	19%
Garanti Kapsamında Tamir ve Onarımlar	19.200,00 ₺	56%
Şikayetler	5.982,00 ₺	18%
Müşteri ile Temas Sağlama Maliyetleri	222,22 ₺	1%
Nakliye Maliyetleri	2.056,00 ₺	6%
TOPLAM DIŞSAL BAŞARISIZLIK MALİYETİ	34.080,02 ₺	100%

Çizelge 4.9.'da kalite maliyet çizelgesinin tamamına yer verilmiş ve önleme maliyetleri, ölçme-değerlendirme maliyetleri ile başarısızlık maliyetlerinin oranları incelenmiştir.

Çizelge 4.9. Kalite iyileştirme faaliyetleri öncesi kalite maliyetlerinin özet çizelgesi

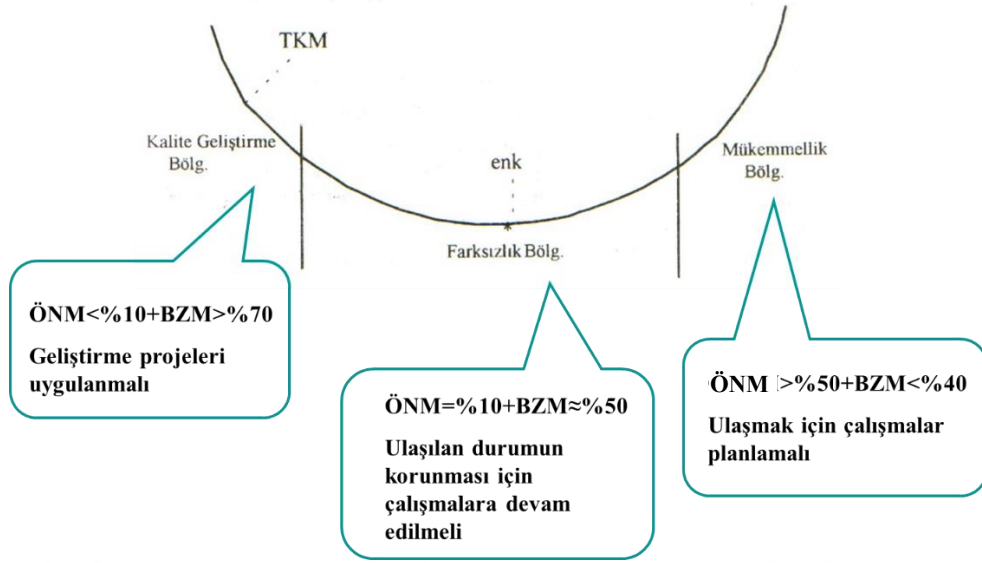
KALİTE MALİYETLERİ ÇİZELGESİ		
ÖNLEME MALİYETLERİ	TUTAR	%
Kalite Planlaması Maliyetleri	2.287,88 ₺	10%
Kalitenin Gözden Geçirilmesi ve Tasarımın Doğrulanması	6.697,73 ₺	30%
Kalite Ölçüm ve Test Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı	5.402,27 ₺	24%
Kalite Değerlemede Kullanılan Üretim Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı	6.522,73 ₺	29%
Kalite Eğitimi Maliyeti	1.568,18 ₺	7%
TOPLAM ÖNLEME MALİYETİ	22.478,79 ₺	100%
ÖNLEME MALİYETLERİ/TOPLAM KALİTE MALİYETLERİ		27%
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME MALİYETLERİ	TUTAR	%
Teslim Alma (Kabul) Muayenesi	795,45 ₺	9%
Üretim Öncesi Doğrulama	1.590,91 ₺	18%
Muayene ve Test Maliyetleri	2.102,27 ₺	23%
Muayene ve Test Esnasında Tüketilen Materyaller	338,00 ₺	4%
Saha Performans Testleri	3.172,73 ₺	35%
Test ve Kontrol Sonuçlarının Analizi ve Raporlanması	220,96 ₺	2%
Stok Kontrolü	795,45 ₺	9%
TOPLAM ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME MALİYETİ	9.015,78 ₺	100%
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME MALİYETLERİ/T. K. MALİYETLERİ		11%
BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ		
İÇSEL BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ	TUTAR	%
Fire/Hurda Maliyeti	1.121,63 ₺	7%
Yeniden İşleme Maliyeti	1.950,00 ₺	11%
Değişim İzinleri ve İmtiyazlar	909,09 ₺	5%
Tedarikçi Hataları	590,63 ₺	3%
Muayene ve Test Tekrarları	2.102,27 ₺	12%
Zaman Kayıpları	10.295,45 ₺	61%
TOPLAM İÇSEL BAŞARISIZLIK MALİYETİ	16.969,07 ₺	100%
İÇSEL BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ/TOPLAM KALİTE MALİYETLERİ		21%
DIŞSAL BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ	TUTAR	%
Hurda ve İadeler	6.619,80 ₺	19%
Garanti Kapsamında Tamir ve Onarımlar	19.200,00 ₺	56%
Şikayetler	5.982,00 ₺	18%
Müşteri ile Temas Sağlama Maliyetleri	222,22 ₺	1%
Nakliye Maliyetleri	2.056,00 ₺	6%
TOPLAM DIŞSAL BAŞARISIZLIK MALİYETİ	34.080,02 ₺	100%
DIŞSAL BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ/T. K. MALİYETLERİ		41%
TOPLAM BAŞARISIZLIK MALİYETİ	51.049,09 ₺	100%
BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ/TOPLAM KALİTE MALİYETLERİ		62%
TOPLAM KALİTE MALİYETİ	82.543,66 ₺	100%

Çalışma kapsamında mevcut üretim dönemine ait kalite maliyetlerinin muhasebeleştirilmesi, daha sonra FMEA ve Bulanık AHP yöntemleriyle karar verilecek iyileştirme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ardından, kullanılan yöntemlerin maliyetlere olan etkisini izleme konusunda fayda sağlayacaktır. Yine Çizelge 4.9.'a göre kalite maliyetleri Şekil 4.4.'te pasta grafiği halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kalite iyileştirme faaliyetleri öncesi kalite maliyetlerine yönelik pasta grafiği

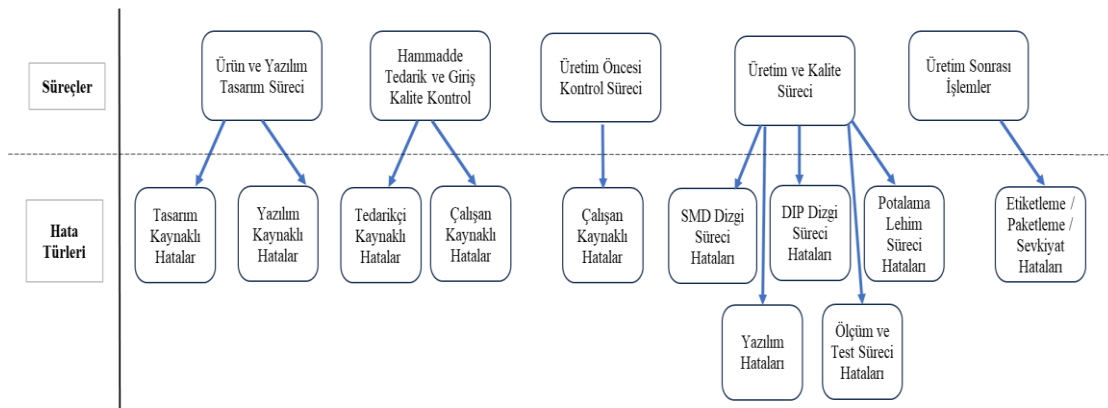
Sonuç olarak 22.478,79 ₺ ile önleme maliyetleri, toplam kalite maliyetlerinin %27'sini, 9.015,78 ₺ ile ölçme-değerlendirme maliyetleri, toplam kalite maliyetlerinin %11'ini, 51.049,09 ₺ ile başarısızlık maliyetleri, toplam kalite maliyetlerinin yüzde %62'sini oluşturmaktadır. Ayrıca dış başarısızlık maliyetlerinin toplam kalite maliyetlerine oranının %41 olması dikkat çekmektedir. Şekil 4.5.'te yer alan toplam kalite maliyetleri eğrisine göre firmanın maliyet verileri farksızlık bölgesinde yer aldığını göstermektedir. Önleme ve ölçme değerlendirme maliyetlerini arttırmanın başarısızlık maliyetlerini ve dolayısıyla toplam kalite maliyetlerini düşürdüğü bilindiğinde, yapılacak iyileştirme çalışmalarının kalite maliyetlerine bu yönde etki etmesi beklenmektedir.



Şekil 4.5. Toplam Kalite Maliyetleri Eğrisi (Burnak vd.)

4.3. Hata Türü ve Etkileri Analizinin Gerçekleştirilmesi

Firmanın verileri incelendiğinde tasarım, üretim, kalite kontrol alanlarında iyileştirmelerin yapılması gerektiği aşikardır. Ancak halihazırda karşılaşılan veya olası hatalara yönelik tamamına aynı anda müdahale etmek mümkün değildir. Bu nedenle öncelikle hangi hata türlerinin öncelikli olarak ele alınması gerektiğini belirlemek üzere firmanın daha önce tespit etmiş olduğu hata türleri ve hataların kaynaklarının detaylı bir şekilde kategorilendirilmesi, FMEA ile hata türlerinin risk seviyelerine göre önceliklendirilmesi gerekmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Tasarım, üretim ve kontrol süreçleri ile süreçlerde gerçekleşen hata türleri

FMEA tablosunun oluşturulabilmesi için öncelikle tasarım, üretim ve kalite süreçlerinin detaylı tanımlaması ve bu süreçlerde karşılaşılan veya karşılaşılabilecek olası hata türlerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6.'da yapılan süreç ve hata türü sınıflandırması gösterilmiştir. Tespit edilen hata türlerinin ortak etkisi “müşteriye kusurlu veya yanlış ürünün teslim edilmesi” olarak kabul edilmiş, bu nedenle RÖS değeri hesaplaması için hata türlerinin temel nedenleri sıralanmış ve Çizelge 4.10.'da verilmiştir.



Çizelge 4.10. Sürece bağlı hata türleri ve hataların temel nedenleri

Süreçler	Hata Türü	Hatanın Temel Nedeni
ÜRÜN VE YAZILIM TASARIM SÜRECİ	TASARIM KAYNAKLI HATALAR	Yanlış komponent seçimi
		Komponent yerleşim yerinin yanlış seçimi
		Yanlış boyutta PCB tasarımı
	YAZILIM KAYNAKLI HATALAR	İstenilen işlevi yerine getirmeyen yazılım tasarlanması
HAMMADDE TEDARİK VE GİRİŞ KALİTE KONTROL SÜRECİ	TEDARİKÇİ KAYNAKLI HATALAR	Komponente uyumsuz yazılım tasarlanması
		Tedarikçiden kusurlu komponent gelmesi
	ÇALIŞAN KAYNAKLI HATALAR	Tedarikçiden yanlış komponent gelmesi
		Tedarikçiye yanlış komponent siparişin verilmesi
ÜRETİM ÖNCESİ KONTROL SÜRECİ	ÇALIŞAN KAYNAKLI HATALAR	Tedarikçiden gelen yanlış komponentin depoya alınması
		Tedarikçiden gelen kusurlu komponentin depoya alınması
		Üretime yanlış komponentin gönderilmesi
		Üretime kusurlu komponent gönderilmesi
ÜRETİM VE KALİTE SÜRECİ	SMD DİZGİ SÜRECİ HATALARI	Üretime eksik sayıda komponent gönderilmesi
		Üretime fazla sayıda komponent gönderilmesi
		Yanlış dizgi şeması gönderilmesi
	DİP DİZGİ SÜRECİ HATALARI	SMD dizgi makinasına yanlış dizgi şeması yüklenmesi
		SMD dizgi makinasının eksik komponent dizmesi
		SMD dizgi makinasının periyodik bakımının aksatılması sonucu mekanik hatalar
	POTALAMA LEHİM SÜRECİ HATALARI	Direnç, kondansatör, mosfet vb. komponentlerin bacaklarının hatalı kesilmesi
		Dip komponentlerin eksik dizilmesi
		Yönlü Dip komponentlerin yanlış dizilmesi
	YAZILIM HATALARI	Lehim potalama makinasının ayarının doğru yapılmaması
		Lehim potalama makinasının ısı ayarının bozulması
		Lehim potalama makinasının flux ayarı bozulması
	GÖZ / LEHİM / ELEKTRİKSEL ÖLÇÜM / TEST SÜRECİ HATALARI	Yazılım yüklenmemesi
		Yanlış yazılım yüklenmesi
		Göz kontrolünün kontrol talimatına uygun yapılmaması
		Lehim kontrolünün kontrol talimatına uygun yapılmaması
ÜRETİM SONRASI İŞLEMLER	ETİKETLEME / PAKETLEME / SEVKİYAT HATALARI	Elektriksel ölçümleri ve test ekipmanlarının ayarsız olması
		Elektriksel ölçümleri ve testinin kusurlu yapılması
		Araç testlerinin kontrol talimatına uygun yapılmaması
		Yanlış etiket basılması
		Kusurlu paketleme
		Uygun olmayan ambalaj kullanılması
		Yanlış ürün sevk edilmesi
		Eksik sayıda ürün sevk edilmesi

Hata Türleri ve Etkileri Analizi'nde belirlenen hataların temel nedenlerine göre RÖS (Risk Öncelik Sayısı) değerlerinin hesaplanması, firmada bir müdür, iki mühendis ve dört teknisyenden oluşturulan yedi kişilik bir ekip tarafından gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeyi yapacak ekibe puanlama ölçütleri hakkında bilgi verilmiş ve örneklerle desteklenerek değerlerin anlaşılması sağlanmıştır.

Müşterileri olan Y Firması'ndan sözlü olarak gelen şikayetler ve hata tanımları da göz önünde bulundurulmuştur. Önce bireysel olarak puanlama yapmaları istenmiş, daha sonra beyin fırtınası yöntemiyle ortak karar olarak Şiddet, Olasılık ve Saptanabilirlik değerleri tabloya işlenmiştir. Bu şekilde ekip içerisinde hata türlerinin önem derecesi, meydana gelme olasılığı ve hataları tespit edebilme kabiliyeti açıkça ortaya konmuş ve farkındalık yaratılması amacı yerine getirilmiştir. FMEA uygulamasının sonuçları Çizelge 4.11.'de yer almaktadır.

Çizelge 4.11. Olası hata türleri ve temel nedenleri

Olası Hata Türleri ve Temel Nedenleri							
No	Süreçler	Hata Türü	Hatanın Temel Nedeni	Şiddet	Olasılık	Saptana bilirlilik	RÖS
1	ÜRÜN VE YAZILIM TASARIM SÜRECİ	TASARIM	Yanlış komponent seçimi	8	7	3	168
2		KAYNAKLI	Komponent yerleşim yerinin yanlış seçimi	7	5	2	70
3		HATALAR	Yanlış boyutta PCB tasarımı	4	2	1	8
4		YAZILIM	İstenilen işlevi yerine getirmeyen yazılım tasarlanması	5	6	1	30
5		HATALAR	Komponente uyumsuz yazılım tasarlanması	6	6	2	72
6	HAMMADDE TEDARİK VE GİRİŞ KALİTE KONTROL SÜRECİ	TEDARİKÇİ	Tedarikçiden kusurlu komponent gelmesi	7	2	8	112
7		KAYNAKLI	Tedarikçiden yanlış komponent gelmesi	6	1	3	18
8		HATALAR	Tedarikçiye yanlış komponent siparişin verilmesi	5	2	2	20
9		ÇALIŞAN	Tedarikçiden gelen yanlış komponentin depoya alınması	2	2	2	8
10		KAYNAKLI	Tedarikçiden gelen kusurlu komponentin depoya alınması	2	2	8	32
11	ÜRETİM ÖNCESİ KONTROL SÜRECİ	ÇALIŞAN	Üretime yanlış komponentin gönderilmesi	6	4	5	120
12			Üretime kusurlu komponent gönderilmesi	6	4	6	144
13			Üretime eksik sayıda komponent gönderilmesi	4	3	1	12
14			Üretime fazla sayıda komponent gönderilmesi	3	1	1	3
15			Yanlış dizgi şeması gönderilmesi	8	1	1	8
16	ÜRETİM VE KALİTE SÜRECİ	SMD DİZGİ SÜRECİ HATALARI	Smd dizgi makinasına yanlış dizgi şeması yüklenmesi	8	1	2	16
17			Smd dizgi makinasının eksik komponent dizmesi	6	3	5	90
18			Smd dizgi makinasının periyodik bakımının aksatılması sonucu mekanik hatalar	5	1	1	5
19		DİP DİZGİ SÜRECİ HATALARI	Direnç, kondansatör, mosfet vb. komponentlerin bacaklarının hatalı kesilmesi	7	6	2	84
20			Dip komponentlerin eksik dizilmesi	6	3	2	36
21			Yönlü Dip komponentlerin yanlış dizilmesi	7	4	3	84
22		POTALAMA LEHİM SÜRECİ HATALARI	Lehim potalama makinasının ayarının doğru yapılmaması	7	4	5	140
23			Lehim potalama makinasının ısı ayarının bozulması	6	4	3	72
24			Lehim potalama makinasının flux ayarı bozulması	6	3	3	54
25		YAZILIM HATALARI	Yazılım yüklenmemesi	7	3	1	21
26			Yanlış yazılım yüklenmesi	6	4	2	48
27		GÖZ / LEHİM / ELEKTRİKSEL ÖLÇÜM / TEST SÜRECİ HATALARI	Göz kontrolünün kontrol talimatına uygun yapılmaması	7	6	2	84
28			Lehim kontrolünün kontrol talimatına uygun yapılmaması	6	5	5	150
29			Elektriksel ölçümleri ve test ekipmanlarının ayarsız olması	5	2	1	10
30			Elektriksel ölçümleri ve testinin kusurlu yapılması	6	3	3	54
31			Araç testlerinin kontrol talimatına uygun yapılmaması	5	6	2	60
32	ÜRETİM SONRASI İŞLEMLER	ETİKETLEM E / PAKETLEM E / SEVKİYAT HATALARI	Yanlış etiket basılması	3	1	2	6
33			Kusurlu paketleme	4	2	1	8
34			Uygun olmayan ambalaj kullanılması	3	1	1	3
35			Yanlış ürün sevk edilmesi	7	3	3	63
36			Eksik sayıda ürün sevk edilmesi	4	4	2	32

FMEA uygulaması sonucu RÖS değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak en yüksek RÖS değerine sahip hata türlerinin tespiti yapılmış ve Çizelge 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. FMEA uygulaması sonucu büyükten küçüğe RÖS değerlerinin sıralaması

Hatanın Temel Nedeni	RÖS
Yanlış komponent seçimi	168
Lehim kontrolünün kontrol talimatına uygun yapılmaması	150
Üretime kusurlu komponent gönderilmesi	144
Lehim potalama makinasının ayarının doğru yapılmaması	140
Üretime yanlış komponentin gönderilmesi	120
Tedarikçiden kusurlu komponent gelmesi	112
Smd dizgi makinasının eksik komponent dizmesi	90
Direnç, kondansatör, mosfet vb. komponentlerin bacaklarının hatalı kesilmesi	84
Yönlü Dip komponentlerin yanlış dizilmesi	84
Göz kontrolünün kontrol talimatına uygun yapılmaması	84
Komponente uyumsuz yazılım tasarlanması	72
Lehim potalama makinasının ısı ayarının bozulması	72
Komponent yerleşim yerinin yanlış seçimi	70
Yanlış ürün sevk edilmesi	63
Araç testlerinin kontrol talimatına uygun yapılmaması	60
Lehim potalama makinasının flux ayarı bozulması	54
Elektriksel ölçümleri ve testinin kusurlu yapılması	54
Yanlış yazılım yüklenmesi	48
Dip komponentlerin eksik dizilmesi	36
Tedarikçiden gelen kusurlu komponentin depoya alınması	32
Eksik sayıda ürün sevk edilmesi	32
İstenilen işlevi yerine getirmeyen yazılım tasarlanması	30
Yazılım yüklenmemesi	21
Tedarikçiye yanlış komponent siparişin verilmesi	20
Tedarikçiden yanlış komponent gelmesi	18
Smd dizgi makinasına yanlış dizgi şeması yüklenmesi	16
Üretime eksik sayıda komponent gönderilmesi	12
Elektriksel ölçümleri ve test ekipmanlarının ayarsız olması	10
Yanlış boyutta PCB tasarımı	8
Tedarikçiden gelen yanlış komponentin depoya alınması	8
Yanlış dizgi şeması gönderilmesi	8
Kusurlu paketlenme	8
Yanlış etiket basılması	6
Smd dizgi makinasının periyodik bakımının aksatılması sonucu mekanik hatalar	5
Üretime fazla sayıda komponent gönderilmesi	3
Uygun olmayan ambalaj kullanılması	3

FMEA uygulaması sonucu RÖS değerleri büyükten küçüğe sıralandığında hatalara sebep olan etmenlerden en riskli olanların yanlış komponent seçimi, lehim kontrolünün kontrol talimatına uygun yapılmaması, üretime kusurlu komponent gönderilmesi, lehim potalama makinasının ayarının doğru yapılmaması ve üretime yanlış komponentin gönderilmesi olduğu açıkça görülebilmektedir.

Bu nedenle alınacak iyileştirme kararlarının öncelikle uygun komponentleri içeren tasarım değişikliğine gidilmesi, giriş kalite kontrollerinin artırılması, üretim sürecindeki ara kontrol noktalarında kalite kontrollerin artırılması ve makine ayar kontrollerinin artırılması konusunda gerçekleştirilmesi gerektiği ortaya konmuştur. Öncelikli olduğu belirlenen hata kaynakları üzerine çalışmalar gerçekleştirilerek RÖS değerlerinin kabul edilebilir seviyeye indirilmesi hedeflenmiştir. Böylece FMEA uygulaması ile değerlendirilen süreç, alınan aksiyonlar sonucu en yüksek paya sahip hataları eleyecektir. Her ne kadar FMEA sonuçlarına göre birinci sırada iyileştirme faaliyeti gerektiren madde tasarım değişikliği olsa da, neredeyse birbirine çok yakın RÖS değerine sahip maddeler arasında birbirine göre önem derecelerini tespit etmek ve ağırlıklandırmak amacıyla farklı bir yöntemin entegre edilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır.

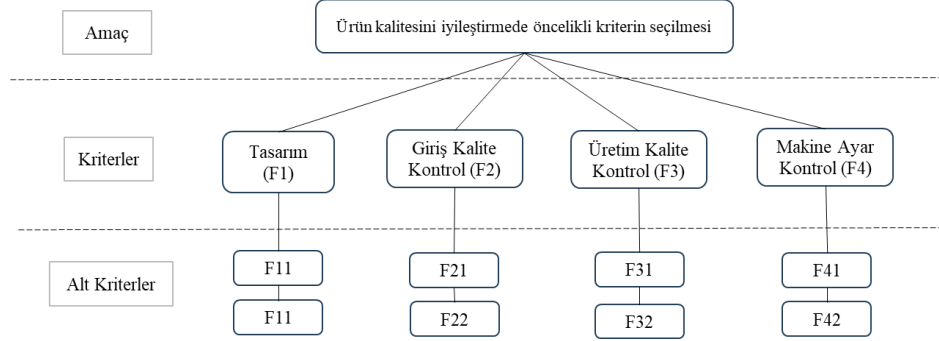
4.4. Kalite İyileştirme Faaliyetlerinin Görece Önemini Belirlemede Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Uygulaması

Firma işleyiş süreci analiz edildiğinde aynı anda birden fazla kalite iyileştirme kararı alınması gerektiği görülebilir. Böyle bir durumda yapılacak iyileştirme faaliyetlerinin doğru ve istenen sonuçları verebilmesi adına karşılaştırılması ve önceliklendirilmesi gerekmektedir. Oluşan veya oluşabilecek hata türlerinin FMEA ile önceliklendirilen hata nedenlerine yönelik uygulanabilecek iyileştirme faaliyetlerinden başlangıçta hangisinin seçilmesi gerektiği kararını desteklemesi ve kriterleri ağırlıklandırma amacıyla Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi tercih edilmiş ve izleyen adımlarla uygulanmıştır.

Adım 1: Yetkin karar verici ekibinin oluşturulması.

BAHP uygulaması da, FMEA uygulamasında yer alan ekipteki karar vericiler tarafından gerçekleştirilmiştir. İkili karşılaştırmaların kurulabilmesi için öncelikle karar verilecek kalite iyileştirme faaliyeti kriterlerinin tanımı gerçekleştirilmiştir.

Adım 2: Öncelikli kriterin seçimi için amaç, kriter ve alt kriterlerin bulunduğu hiyerarşik yapının oluşturulması (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. İyileştirme faaliyeti seçimi için kurulan hiyerarşik yapı

FMEA uygulaması sonuçlarına göre uygulanması gereken öncelikli iyileştirici faaliyetin yer aldığı kriterin seçilmesi amaç olarak ele alındığında kriterler;

- F1: Tasarım
- F2: Giriş kalite kontrol
- F3: Üretim kalite kontrol
- F4: Makine ayar kontrol

karar değişkenleri olarak tanımlanmış ve hiyerarşik yapı Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Bu esnada kriterlere bağlı olarak alt kriterler belirlenmiş fakat firma ile yapılan gizlilik anlaşması nedeniyle paylaşılammış, sadece kriterlerin birbirine göre önem derecesini tespit etme ve başlangıç kararı için FMEA sonuçlarını destekleme amacıyla Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

Adım 3: İkili karşılaştırmalar için kullanılacak bulanık yöntem, sayı setinin seçilmesi.

Literatüre göre BAHF uygulamalarında kriterlerin değerlendirilmesinde farklı ikili karşılaştırma matrislerinin kullanılabilmekte olduğu bilinmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında 1996 yılında Chang tarafından önerilen ve sıkça kullanılan genişletilmiş BAHF yöntemi tercih edilmiştir. İkili karşılaştırmaların karar vericiler tarafından daha iyi anlaşılması ve ikili karşılaştırma matrisini kurmada kolaylık sağlaması için Çizelge 4.13.'te yer alan dilsel ifadeler ve bunlara karşılık gelen bulanık üçgensel sayılar ile bu sayıların tersleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.13. Karar değişkenlerine yönelik dilsel ifadeler ve karşılık gelen bulanık üçgensel sayılar

Dilsel ifadeler	Bulanık üçgensel sayılar	Bulanık üçgensel sayıların tersi
Eşit önemli (EÖ)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Az önemli (AÖ)	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1)
Önemli (Ö)	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Daha önemli (DÖ)	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Kesinlikle daha önemli (KDÖ)	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)

Adım 4: Karar vericilere yöneltilecek soru sayısının $\frac{n(n-1)}{2}$ formülü ile belirlenmesi ve karşılaştırma tablosunun oluşturulup değerlendirilmesi.

4 kritere bağlı olarak karar vericilerin karşılaştırması için 6 adet değerlendirme yapacağı belirlenmiş ve “Sizce hangi faaliyet diğerinden daha önemli?” sorusu ile dilsel ifadeleri kullanarak değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirme sonuçları Çizelge 4.14.’te yer almaktadır.

Çizelge 4.14. Karar vericilere yöneltilen soruların değerlendirilmesi

Sizce hangi faaliyet diğerinden daha önemli?										
	KDÖ	DÖ	Ö	AÖ	EÖ	AÖ	Ö	DÖ	KDÖ	
F1		X								F2
F1			X							F3
F1	X									F4
F2							X			F3
F2				X						F4
F3		X								F4

Adım 5: Önceden belirlenmiş dilsel ifadelere karşılık gelen bulanık üçgensel sayılar ile 4 kriterli bulanık kıyaslama matrisinin oluşturulması.

Karar vericilerin dilsel olarak ifadeleri, bulanık üçgensel sayılar ve bu sayıların terslerinin kullanılmasıyla bulanık karşılaştırma matrisine dönüştürülmüştür ve Çizelge 4.15.’te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Dilsel ifadelerin bulanık üçgensel sayılara denk gelen 4 kriterli bulanık karşılaştırma matrisi

Karar Değişkenleri	F1	F2	F3	F4
F1	(1,1,1)	(5,7,9)	(3, 5, 7)	(7,9,9)
F2	(1/9, 1/7, 1/5)	(1,1,1)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1, 3, 5)
F3	(1/7, 1/5, 1/3)	(3, 5, 7)	(1,1,1)	(5, 7, 9)
F4	(1/9, 1/9, 1/7)	(1/5, 1/3, 1)	(1/9, 1/7, 1/5)	(1,1,1)

Adım 6: Chang'ın genişletilmiş BAHP algoritmasına göre sentetik genişletme değerine ulaşabilmek için üçgen bulanık sayıların satır toplama işleminin gerçekleştirilmesi.

Eşitlik (3.11)'e göre her bir kritere ait bulanık toplamlar Çizelge 4.16.'da yer almaktadır.

Çizelge 4.16. Bulanık toplamlar matrisi

	l	m	u
F1	16	22	26
F2	2,253968	4,342857	6,533333
F3	9,142857	13,2	17,333333
F4	1,422222	1,587302	2,342857
Toplam	28,81905	41,13016	52,20952

Adım 7: Sentetik genişletme değerlerinin bulunması.

Bulanık toplamlar çizelgesinden yola çıkarak Eşitlik (3.12) ve Eşitlik (3.13) uygulandığında, sentetik genişletme değerleri Çizelge 4.17.'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.17. Bulanık karşılaştırma matrisinin sentetik genişletme değerleri

	l	m	u
F1	0,306457	0,534887	0,902181
F2	0,043172	0,105588	0,226702
F3	0,175119	0,320932	0,601454
F4	0,027241	0,038592	0,081295

Adım 8: İkili karşılaştırmaların olasılık derecelerinin hesaplanması.

Kriterlerin birbiri ile karşılaştırılması sonucu hesaplanan olasılık dereceleri Çizelge 4.18.'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. İkili karşılaştırmaların olasılık dereceleri

	F1	F2	F3	F4
F1		1	1	1
F2	0		0,193248	1
F3	0,579616	1		1
F4	0	0,36267	0	

Adım 9: Olasılık derecelerinin normalize edilmesi ve ağırlık vektörünün elde edilmesi.

Olasılık dereceleri tablosuna göre her satıra ait minimum değerin tespit edilmesi ve ağırlık vektörünün hesaplanması Çizelge 4.19.'da yer almaktadır.

Çizelge 4.19. Kriterlerin ağırlık vektörünün hesaplanması

	F1	F2	F3	F4	min	w
F1		1	1	1	1	0,633
F2	0		0,1932	1	0	0
F3	0,5796	1		1	0,579616	0,367
F4	0	0,3627	0		0	0
Toplam					1,579616	

Bulanık AHP sonuçları, giriş kalite kontrolü (F2) ve makine ayar kontrolü (F4) kriterlerinin diğer kriterlere görece önemsiz olduğunu göstermektedir. Tasarım faktörünün (F1), önem derecesinin 0,633 olarak hesaplanması, tasarımda yapılacak iyileştirmelere öncelik verilmesi gerektiğini desteklemiştir. Ayrıca üretim kalite kontrol (F3) faktörünün de azımsanamayacak ölçüde önemli olduğu yargısına varılabilmektedir.

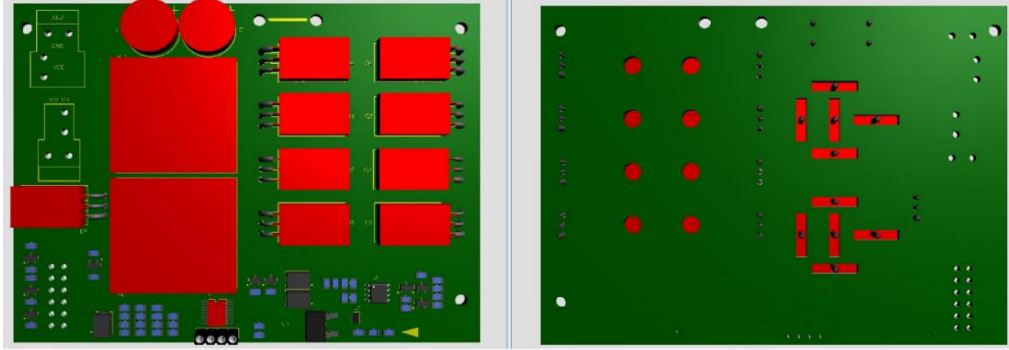
4.5. Analizler Sonucu Gerçekleştirilen Faaliyetler

Çalışma kapsamında uygulanan yöntemler, X Firması'na, gerçekleşen veya gerçekleşebilecek hataların büyük bir bölümünün tasarımlarından kaynaklı olduğunu gözler önüne sermiştir. Bu nedenle Y Firması ve tedarikçileri ile daha sıkı bir iletişim haline geçerek yeni bir PCB tasarlamaya karar vermiş ve beş adet prototip üretimi gerçekleştirmiştir. P-02 ve P-03 parti üretimleri arasında yapılan kalite iyileştirme faaliyetleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- PCB'nin montelendiği alüminyum kasa baz alındığında ısınmayı tolere edebilecek deliklerin açılması,
- Ürün ağacında yer alan SMD malzemelerden olan transistör, diyot, kapasitör gibi malzemelerden bir kısmının yerine ikame DIP malzemelerin tercih edilmesi,
- DIP malzeme ve SMD malzeme seçimlerinde tamamının elektriksel ölçümlerinin doğru şekilde gerçekleştirilmesi,
- Yeni PCB tasarımına uygun yazılım tasarımının doğrulanması,
- Prototiplerin parti üretim kararı verilmeden hem X Firması'nda, hem de Y Firması'nda tekrarlı test edilmesi,
- DIP malzeme oranı arttırıldığından, işçilere DIP malzemelerin montajı hakkında kalite eğitimi verilmesi.

Ayrıca üretim aşamaları esnasında kalite kontrolün önemi de azımsanamayacak bir oranda olduğundan ve şikayetler ile dış başarısızlık maliyetlerini düşürebileceği düşünüldüğünden kalite kontrol noktalarında %10 örnek alınarak yapılan testler, %15 oranına çıkarılmıştır.

Tüm test ve kontroller tamamlandıktan sonra Şekil 4.8.'de yer alan PCB'nin üretimine karar verilmiştir.



Şekil 4.8. Kalite iyileştirme faaliyetlerinden sonra üretimine onay verilen PCB tasarımı

P-03 parti üretimi boyunca alınan kararlar doğrultusunda üretim takibi gerçekleştirilmiş ve iç hata oranının düştüğü raporlanmıştır. Asıl önem verilen, müşteriden gelen hata oranlarıdır ve izleyen bölümde sonuçlar tartışılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan yöntemler, hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucunda karar verilen kalite iyileştirme faaliyetleri uygulandıktan sonra üretimi gerçekleştirilen P-03 kodlu parti üretimine yönelik Y Firması'ndan gelen hata türlerine bağlı hata sayıları Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 2023 yılının üçüncü 10.000 adetlik parti üretiminde hata tablosu

P-03 (2023)		
Üretim miktarı	10.000	
Hata oranı	3,33%	
Hata tipi	Hata sayısı	Hata oranı
Aşırı ısınma	52	15,62%
Enerji verilince direkt çalışma	36	10,81%
Hiç çalışmama	44	13,21%
Geri viteste arka lambanın yanmaması	28	8,41%
Geri viteste ön lamba yanmaması	28	8,41%
Ön ve arka lambaların yanmaması	29	8,71%
Fren ve turbo özelliğinin çalışmaması	63	18,92%
Akü/motor soketinin erimesi	3	0,90%
Hurda (yanma kaynaklı)	4	1,20%
Geri viteste geri gitmeme	23	6,91%
İleri viteste ileri gitmeme	23	6,91%
Toplam hata sayısı	333	100,00%

Sonuçlara göre 10.000 adet üretimi gerçekleştirilen partide hata sayısı 535 ve hata yüzdesi %5,35 iken, iyileştirme faaliyetleri sonrası hata sayısı 333 ve hata yüzdesi %3,3'e gerilemiştir. En önemli hata sayısı değerine sahip olan aşırı ısınma hata tipinde 256 adet hatalı ürün tespit edilirken, bu sayı 52'ye düşerek önemli ölçüde gelişme kaydedildiği söylenebilmektedir.

Kalite iyileştirme faaliyetlerinin anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla;

$\hat{p}_1$: Birinci anakütlerde ilgilenilen birimlerin oranı

$\hat{p}_2$: İkinci anakütlerde ilgilenilen birimlerin oranı

n_i : i. Anakütleden alınan örnek büyüklüğü

X_i : n_i 'deki ilgilenilen birimlerin sayısı, $i=1, 2, \dots$

p_i : i . örnek oranı

Olmak üzere ve örnek büyüklüğünün yeterli olduğu durumda;

$$X_1: B(x_1, n_1, \hat{p}_1) \quad p_1: \frac{x_1}{n_1}$$

$$X_2: B(x_2, n_2, \hat{p}_2) \quad p_2: \frac{x_2}{n_2}$$

H_0 doğru ve $p_0=0$ iken, $p = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2}$ olmak üzere $\hat{p}_1 = \hat{p}_2 = 0$

Eşitliklerinde hipotezler;

$H_0: \hat{p}_1 - \hat{p}_2 = 0$ (İyileştirme faaliyetleri öncesi hata oranı ile iyileştirme faaliyetleri sonrası hata oranı arasında önemli bir fark yoktur.)

$H_1: \hat{p}_1 - \hat{p}_2 > 0$ (İyileştirme faaliyetleri öncesi hata oranı ile iyileştirme faaliyetleri sonrası hata oranı arasında önemli bir fark vardır.)

şeklinde tek taraflı oranlar farkı hipotezi kurulabilmektedir ve karar kuralı olarak $Z \geq Z_\alpha$ ise H_0 'ın reddedileceği belirlenir.

Buna göre $p = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2} = \frac{535 + 333}{10000 + 10000} = 0,0434$ ve

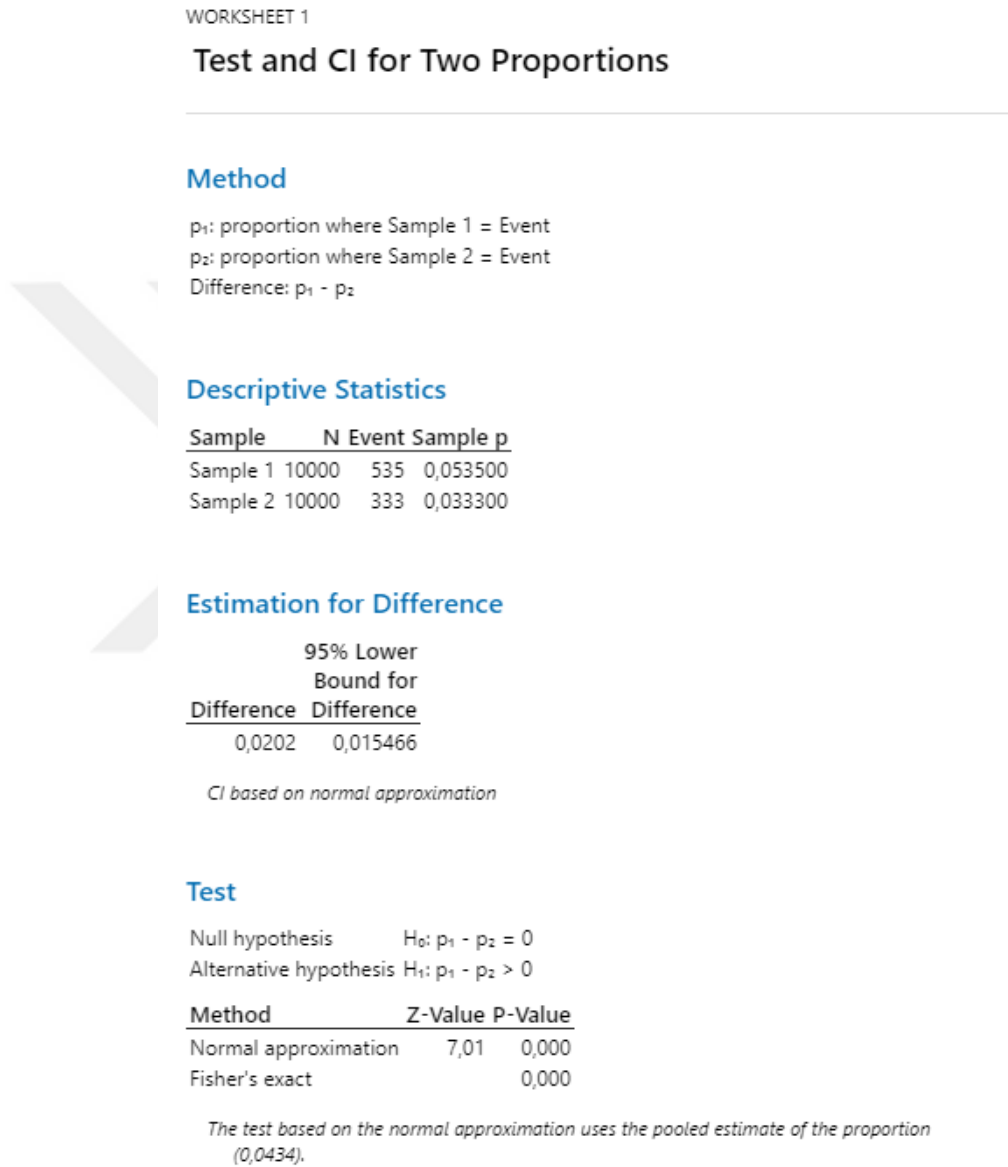
$p_1 = \frac{535}{10000} = 0,0535$ ve $p_2 = \frac{333}{10000} = 0,0333$ iken;

$$Z = \frac{(p_1 - p_2) - (\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{p(1-p)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \sim N(0,1) \text{ iken } Z = \frac{(0,0535 - 0,0333) - (0)}{\sqrt{0,0434(1-0,0434)\left(\frac{1}{10000} + \frac{1}{10000}\right)}} = 7,01 \text{ 'dir.}$$

$\alpha = 0,05$ anlam düzeyinde $Z_\alpha = 1,645$ 'tir ve $Z = 7,01 \geq Z_\alpha = 1,645$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir.

$\alpha = 0,01$ anlam düzeyinde ise $Z_\alpha = 2,325$ 'tir ve $Z = 7,01 \geq Z_\alpha = 2,325$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir.

Sonuç olarak H_0 hipotezi reddedildiğinden H_1 hipotezi kabul edilir ve $\alpha = 0,05$ ile $\alpha = 0,01$ anlam düzeylerinde iyileştirme faaliyetleri öncesi hata oranı ile iyileştirme faaliyetleri sonrası hata oranı arasında önemli bir fark vardır. Şekil 5.1.'de iyileştirme faaliyeti öncesi ve sonrası hata oranlarına ilişkin Minitab hipotez testi çıktıları yer almaktadır.



Şekil 5.1. Minitab anakütle oranlar farkı hipotez testi çıktıları

Hata tipi ve hata sayıları tablosuna göre en yüksek hata oranına sahip “aşırı ısınma” hata tipine yönelik yapılan iyileştirmelerin anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla yeniden bir hipotez testi kurulduğunda ise hipotezler;

$H_0: \hat{p}_1 - \hat{p}_2 = 0$ (İyileştirme faaliyetleri öncesi aşırı ısınma hata tipinin hata oranı ile iyileştirme faaliyetleri sonrası aşırı ısınma hata tipinin hata oranı arasında önemli bir fark yoktur.)

$H_1: \hat{p}_1 - \hat{p}_2 > 0$ (İyileştirme faaliyetleri öncesi aşırı ısınma hata tipinin hata oranı ile iyileştirme faaliyetleri sonrası hata tipinin hata oranı arasında önemli bir fark vardır.)
şeklinde kurulmuş ve karar kuralı olarak $Z \geq Z_\alpha$ ise H_0 'ın reddedileceği belirlenmiştir.

$$\text{Buna göre } p = \frac{X_1 + X_2}{n_1 + n_2} = \frac{256 + 52}{535 + 333} = 0,3548 \text{ ve}$$

$$p_1 = \frac{256}{535} = 0,4785 \text{ ve } p_2 = \frac{52}{333} = 0,1561 \text{ iken;}$$

$$Z = \frac{(p_1 - p_2) - (\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{p(1-p)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \sim N(0,1) \text{ iken } Z = \frac{(0,4785 - 0,1561) - (0)}{\sqrt{0,3548(1-0,3548)\left(\frac{1}{535} + \frac{1}{333}\right)}} = 10,98 \text{ 'dir.}$$

$\alpha = 0,05$ anlam düzeyinde $Z_\alpha = 1,645$ 'tir ve $Z = 10,98 \geq Z_\alpha = 1,645$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir.

$\alpha = 0,01$ anlam düzeyinde ise $Z_\alpha = 2,325$ 'tir ve $Z = 10,98 \geq Z_\alpha = 2,325$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilir.

Sonuç olarak H_0 hipotezi reddedildiğinden H_1 hipotezi kabul edilir ve $\alpha = 0,05$ ile $\alpha = 0,01$ anlam düzeylerinde iyileştirme faaliyetleri öncesi aşırı ısınma hata tipinin hata oranı ile iyileştirme faaliyetleri sonrası aşırı ısınma hata tipinin hata oranı arasında önemli bir fark vardır.

Şekil 5.2.'de iyileştirme faaliyeti öncesi ve sonrası aşırı ısınma hata tipinin hata oranlarına ilişkin Minitab hipotez testi çıktıları yer almaktadır.

WORKSHEET 1

Test and CI for Two Proportions

Method

p_1 : proportion where Sample 1 = Event
 p_2 : proportion where Sample 2 = Event
 Difference: $p_1 - p_2$

Descriptive Statistics

Sample	N	Event	Sample p
Sample 1	535	256	0,478505
Sample 2	333	52	0,156156

Estimation for Difference

Difference	95% Lower Bound for Difference
0,322349	0,274052

CI based on normal approximation

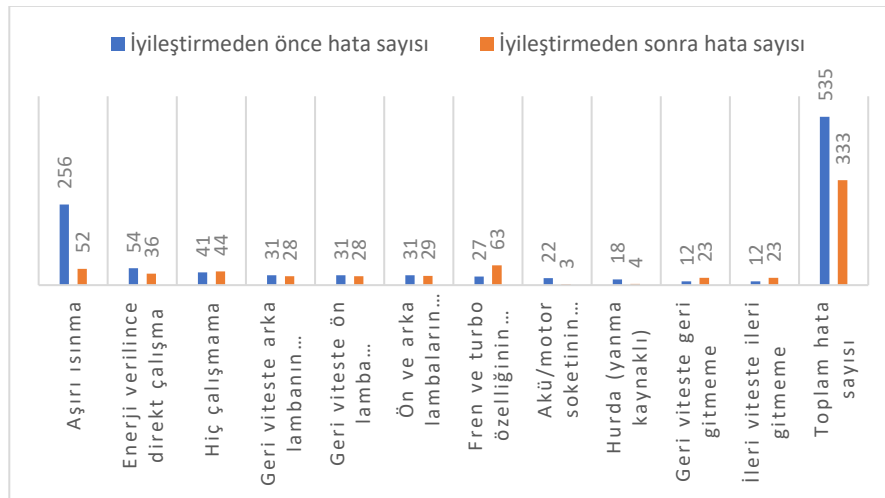
Test

Null hypothesis $H_0: p_1 - p_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: p_1 - p_2 > 0$

Method	Z-Value	P-Value
Normal approximation	10,98	0,000
Fisher's exact		0,000

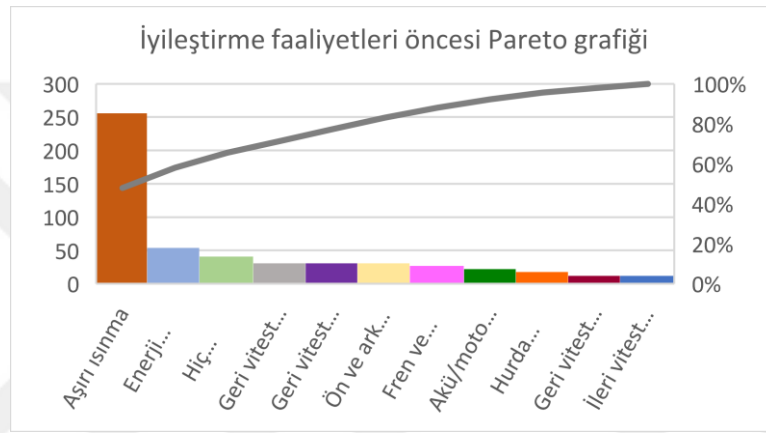
Şekil 5.2. Minitab aşırı ısınma hata tipi için anakütle oranlar farkı hipotez testi çıktıları

İyileştirme faaliyetlerinden önceki hata sayılarının ve iyileştirme faaliyetlerinden sonraki hata sayılarının karşılaştırma grafiği Şekil 5.3.'te yer almaktadır.

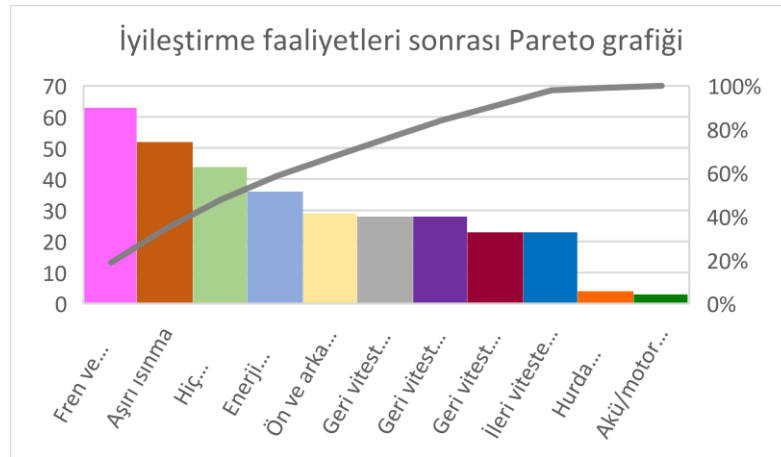


Şekil 5.3. İyileştirme faaliyetleri sonrası karşılaştırmalı hata sayısı grafiği

Kalite iyileştirme faaliyetlerinden önce gerçekleşen hata türü ve hata yüzdelere karşılık gelen Pareto grafiğine Şekil 5.4.'te yer verilmiştir. Buna göre hataların %80'ini aşırı ısınma, enerji verilince direkt çalışma, hiç çalışmama, geri viteste arka lambanın yanmaması ve geri viteste ön lamba yanmaması hataları oluşturmaktadır. Şekil 5.5.'te ise kalite iyileştirme faaliyetlerinden sonra gerçekleşen hata türü ve yüzdelere karşılık gelen Pareto grafiği yer almaktadır. Yeni hata yüzdelere göre, hataların %80'i, fren ve turbo özelliğinin çalışmaması, aşırı ısınma, hiç çalışmama, enerji verilince direkt çalışma, ön ve arka lambaların yanmaması, geri viteste arka lambanın yanmaması şeklinde sıralanmaktadır.



Şekil 5.4. İyileştirme faaliyetleri öncesi Pareto grafiği



Şekil 5.5. İyileştirme faaliyetleri sonrası Pareto grafiği

Aşırı ısınma, hâlâ hata yüzdesi içerisinde önemli bir paya sahip olsa da yapılan iyileştirmeler ile artık en önemli sorun olarak analiz edilmekten çıkarılabilir ve diğer hataları azaltmaya yönelik çalışmaların gerçekleşmesi gerektiği çıkarımı yapılabilmektedir.

Kalite iyileştirme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi esnasında ürünün tasarımı üzerinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, çalışanların kalite spesifikasyonlarını sağlaması amacıyla kalite eğitimleri, kalitenin doğrulanması amacıyla planlama sürecinin yeniden gözden geçirilmesiyle Çizelge 5.2.'de gösterildiği gibi son durumda önleme maliyetleri 38.607,58 ₺ olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.2. İyileştirme faaliyetleri sonrası önleme maliyetleri tablosu

ÖNLEME MALİYETLERİ	TUTAR	%
Kalite Planlaması Maliyetleri	2.825,76 ₺	7%
Kalitenin Gözden Geçirilmesi ve Tasarımın Doğrulanması	19.965,91 ₺	52%
Kalite Ölçüm ve Test Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı	6.156,82 ₺	16%
Kalite Değerlemede Kullanılan Üretim Ekipmanlarının Ayar ve Bakımı	6.522,73 ₺	17%
Kalite Eğitimi Maliyeti	3.136,36 ₺	8%
TOPLAM ÖNLEME MALİYETİ	38.607,58 ₺	100%

Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi uygulamaları sonrası öncelikli olarak yapılması gereken faaliyet tasarım değişikliği olduğundan, ölçme ve değerlendirme maliyetlerini etkileyen kalemlere yönelik bir değerlendirmenin üzerinde fazla durulmamıştır ve kalite kontrol noktalarında %5'lik kontrol sayısı artışının maliyeti yansıtılmıştır. Bu şekilde iken Çizelge 5.3.'te yer verildiği üzere son durumda ölçme ve değerlendirme maliyetleri 10.746,32 ₺ ile önceki duruma göre fazla değişkenlik göstermemiştir.

Çizelge 5.3. İyileştirme faaliyetleri sonrası ölçme ve değerlendirme maliyetleri tablosu

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME MALİYETLERİ	TUTAR	%
Teslim Alma (Kabul) Muayenesi	795,45 ₺	7%
Üretim öncesi doğrulama	2.045,45 ₺	19%
Muayene ve Test Maliyetleri	2.954,55 ₺	27%
Muayene ve Test Esnasında Tüketilen Materyaller	364,00 ₺	3%
Saha Performans Testleri	3.172,73 ₺	30%
Test ve Kontrol Sonuçlarının Analizi ve Raporlanması	220,96 ₺	2%
Stok kontrolü	1.193,18 ₺	11%
TOPLAM ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME MALİYETİ	10.746,32 ₺	100%

Literatürde gerçekleştirilen önceki çalışmaların savunduğu şekilde önleme ile ölçme ve değerlendirme maliyetlerine yapılan yatırım, içsel başarısızlık ve dışsal başarısızlık maliyetlerinde düşüşe sebep olmuştur. İçsel başarısızlık maliyetleri önceki durumda 16.969,07 ₺ iken, işletme içerisinde tespit edilen hataların da azalması nedeniyle yeni tutar

10.866,79 ₺ olarak hesaplanmıştır. En büyük etki ise dışsal başarısızlık maliyetleri üzerinde görülmüş ve 34.080,02 ₺ gerçekleşen dışsal başarısızlık maliyetleri neredeyse %50 azalarak yeni durumda 17.661,65 ₺ olduğu tespit edilmiştir. İçsel ve dışsal başarısızlık maliyetlerine ait son hesaplama tabloları Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5.'te verilmiştir.

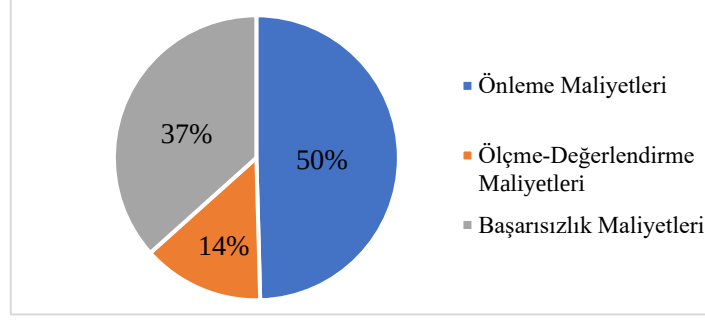
Çizelge 5.4. İyileştirme faaliyetleri sonrası içsel başarısızlık maliyetleri tablosu

İÇSEL BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ	TUTAR	%
Fire/Hurda Maliyeti	314,35 ₺	3%
Yeniden İşleme Maliyeti	1.394,00 ₺	13%
Değişim İzinleri ve İmtiyazlar	555,56 ₺	5%
Tedarikçi hataları	500,61 ₺	5%
Muayene ve test tekrarı	2.954,55 ₺	27%
Zaman Kayıpları	5.147,73 ₺	47%
TOPLAM İÇSEL BAŞARISIZLIK MALİYETİ	10.866,79 ₺	100%

Çizelge 5.5. İyileştirme faaliyetleri sonrası dışsal başarısızlık maliyetleri tablosu

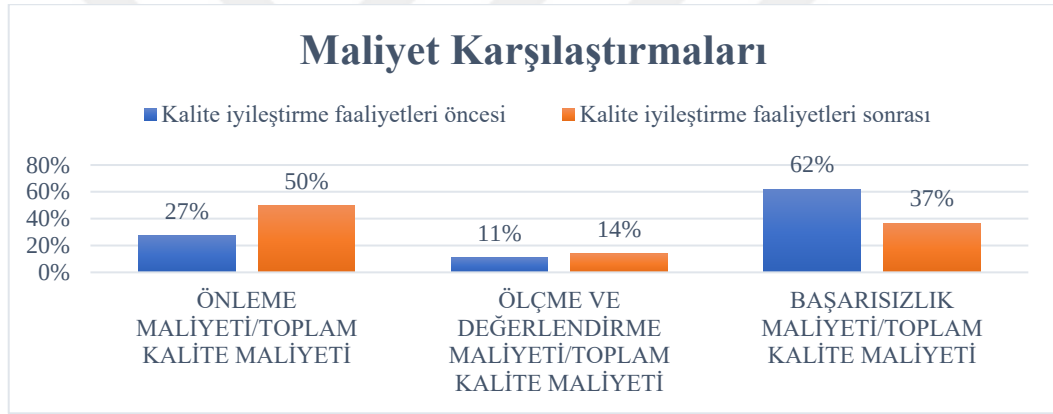
DIŞSAL BAŞARISIZLIK MALİYETLERİ	TUTAR	%
Hurda ve iadeler	1.459,44 ₺	8%
Garanti Kapsamında Tamir ve Onarımlar	13.489,00 ₺	76%
Şikayetler	1.257,39 ₺	7%
Müşteri İle Temas Sağlama Maliyetleri	222,22 ₺	1%
Nakliye maliyetleri	1.233,60 ₺	7%
TOPLAM DIŞSAL BAŞARISIZLIK MALİYETİ	17.661,65 ₺	100%

Kalite iyileştirme faaliyetleri öncesi toplam kalite maliyetlerinin %27'sini oluşturan önleme maliyetleri Şekil 5.6.'da gösterildiği gibi %50'ye çıkarılmıştır. %11 paya sahip olan ölçme ve değerlendirme maliyetleri fazla değişkenlik göstermeyerek %14 oranını elde etmiştir. Başarısızlık maliyetleri ise toplam kalite maliyetlerinin %62'sine sahip iken bu oran %37'ye düşmüştür.



Şekil 5.6. Kalite iyileştirme faaliyetleri öncesi kalite maliyetlerine yönelik pasta grafiği

Şekil 4.5.'te yer alan Toplam Kalite Maliyetleri Eğrisi'ne göre firma, mükemmellik bölgesinde yer almaktadır. Kalite maliyetlerine ilişkin karşılaştırmalı grafik ise Şekil 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.7. İyileştirme faaliyetleri sonrası karşılaştırmalı kalite maliyetleri grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toplam Kalite Yönetimi, amaçlarını gerçekleştirebilen, amaçlarını gerçekleştirebilme yolunda sürekli gelişimi takip eden, kaliteyi doğru şekilde ölçüp değerlendirebilen işletmeler ve bu işletmelerle rekabeti devam ettirmeyi hedefleyen tüm işletmeler için olmazsa olmaz bir felsefedir. Bu nedenle kendi sektörü içerisinde devamlılığını sağlamayı, performansını geliştirmeyi, müşteriye karşı imajını korumayı, bunları gerçekleştirirken de minimum maliyetle maksimum verim elde etmeyi gaye edinmiş her işletme; kalite kavramını ve felsefelerini iyi benimsemeli, kalite araçlarını etkin kullanmalı, model ve metotlarını araştırıp kendine uygun olanı kullanmalı ve her zaman daha iyiye yönelmelidir. Bu bağlamda, daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere, müşteri memnuniyetini sağlayabilmek adına üretim veya hizmet sektör fark etmeksizin hataların gerçekleşmeden önlenmesi, önleme faaliyetleri için gerekli yatırımların yapılması, kalite kontrol sürecinin iyileştirilmesi elzemdir. İşletme içerisinde fark edilmeyen ve düzeltici aksiyonlar alınmayan hatalar, çok daha büyük zararlar getirecektir.

Ayrıca, düşük maliyetle kaliteli ürün üretilmesi, kalite maliyetlerinin kontrol altına alınması, hataların müşteriye ulaşmadan önce tespit edilebilmesi amacıyla kullanılan FMEA tekniğinin, yüksek risk içeren etkilere müdahale edilerek yapılan iyileştirmelerin kalite maliyetlerini düşürdüğü bilinmektedir. Tekniğin, ürün, proses veya hizmet kalitesi, güvenilirliği, işletme imajını ve rekabet yeteneğini artırma, fonksiyonlar ve alt sistemler arasında bağlantıları güçlendirme gibi ek faydaları da bulunmaktadır.

Teknolojinin ilerlemesi ve sistemler içerisindeki bileşenlerin giderek karmaşılaşması ile birlikte karar verme süreci giderek kompleks bir hale dönüşmektedir ve karar verme yöntemlerinin kullanımının önemi vurgulanmaktadır. Klasik karar verme yöntemlerinin yerini sistematik değerlendirme sağlayan çok kriterli karar verme yöntemleri almıştır fakat sayısal olarak ifade edilemeyen durumlar için bulanık yöntemler de geliştirilmiştir. Bu gibi yöntemlerden yararlanmak, bize problemi ele almada bir başlangıç noktası sunabileceği gibi, en iyi sonucu da verebilmektedir.

İşletmelerin, müşterilerin kalite beklentilerini karşılayabilmek adına katlandığı bazı maliyetler bulunmaktadır. Bahse konu süreci en iyi şekilde takip edebilmek için kalite sistemlerinin kalite maliyet modelleriyle izlenmesi gerekmektedir. Kalite maliyetleri ile ilgili verilerin tespit edilip işlenmesiyle, bilgi haline dönüştürülmesi, ölçülmesi, analiz edilmesi ve raporlanıp yöneticilere sunulması, yöneticilerin karar aşamalarına katkı sağlayacak ve zamanında etkin kararlar almalarını sağlayacaktır (Alıcı, 2007).

Çalışma kapsamında X Firması'nda yapılması planlanan kalite iyileştirme faaliyetlerinin önceliklendirilmesi için uygulanan FMEA yöntemi ile müşteri üzerinde en çok etki eden, en yüksek risk derecesine sahip hata türlerinin sıralaması gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, yapılabilecek iyileştirmelere karar verme konusunda bir temel hazırlanmış ve başlangıç noktası olarak öncelikle iyileştirilmesi gereken hata türleri belirlenmiştir. Bu hata türleri; ürünün tasarımı, giriş kalite kontrolü, üretim kalite kontrolü ve makine ayar kontrolü kategorilerine denk gelen hatalar olarak belirlenmiştir. Diğer yandan birden fazla seçeneğin mevcut olduğu durumlarda sıklıkla tercih edilen çok kriterli karar verme metodlarından biri olan Bulanık AHP yöntemi, karar vericilerin kalite iyileştirme faaliyetlerini kıyaslamada kendini sayısal olarak ifade edemediği durumu bulanık olarak ele alma avantajı sağlamıştır. Bulanık AHP sonuçları, FMEA'dan elde edilen dört kriterin karşılaştırılması ve kalite iyileştirme faaliyetine karar vermede en önemli kriterin tasarım olduğunu destekler niteliktedir. Yapılan çalışmada Feigenbaum tarafından geliştirilen PAF Modeli'yle maliyetler; önleme, ölçme ve değerlendirme, iç başarısızlık ve dış başarısızlık olmak üzere dört kategoride analiz edilebildiğinden, kaliteyi arttırırken maliyetlerin azaltılması amacıyla takip edilmiştir. Maliyetler, bir önceki üretim dönemine göre önleme, ölçme ve değerlendirme, başarısızlık maliyetleri, toplam kalite maliyetlerine göre oranlanarak değerlendirilmiştir. Kalite maliyet değerleri ayrıca tablo ve grafikler ile desteklenmiştir. İyileştirme faaliyetleri öncesi toplam kalite maliyetleri içerisinde önleme maliyetleri %27, ölçme-değerlendirme maliyeti %11 ve başarısızlık maliyetleri %62 iken, iyileştirmeler sonrası önleme maliyetleri %50, ölçme-değerlendirme maliyetleri %14 ve başarısızlık maliyetleri %37 şeklinde hesaplanmıştır. Bu doğrultuda elde edilen sonuçlar; kalite iyileştirme faaliyetleri ile önleme ve ölçme-değerlendirme maliyetlerinin arttırılarak başarısızlık maliyetinin azaldığını ve toplam kalite maliyetine de aynı oranda etki ettiğini göstermiştir.

Yönetsel olarak doğru karar almada karar verme metotlarından, oluşan veya oluşabilecek hatalara yönelik tedbirler almada analiz ve değerlendirme yöntemlerinden, kalite maliyetlerini izleyebilmek ve yönetebilmek için kalite maliyet modellerinden yararlanan ve sürekli kalite iyileştirmeyi benimseyen işletmeler, müşteri ihtiyaçlarına daha etkin bir şekilde yanıt verebilecek, imajını ve sektördeki rekabet şartlarını koruyabilecek, daha az maliyetle daha kaliteli ürün veya hizmet üretebilecek pozisyona gelebilecektir.

Çalışma, literatürde yer alan aynı anda FMEA ve Bulanık AHP yöntemlerini uygulayan diğer çalışmalardan farklı olarak PAF Modeli ile eşzamanlı olarak maliyetlerin izlenmesiyle yöntemlerin amacını yerine getirebildiğini desteklemekte ve literatüre katkı sağladığı düşünülmektedir. FMEA ve Bulanık AHP'yi birlikte kullanan diğer çalışmalara kıyasla gerçekleştirilen bu çalışmada yapılacak iyileştirme faaliyetlerinin sistematik olarak karar verilmesi, nicel analizlerin yetersiz kalabildiği durumlarda bulanık mantık ile desteklenmesi avantajlarının yanında PAF Modeli ile kalite maliyetlerinin de tespit edilmesi ile karar verme sürecinin doğru yönetildiği ve bu yöntemlerin birlikte kullanılmasıyla önleme maliyetlerini arttırarak başarısızlık maliyetlerini düşürdüğünü, dolayısıyla toplam kalite maliyetlerini de etkilediği gösterilmiştir. Yöntemler iyileştirme faaliyetleri sonrası tekrarlanarak Hata Türü ve Etkileri Analizi uygulaması ile son durumda en yüksek risk değerine sahip hata türlerinin belirlenmesi ve bu yeni hata türlerine yönelik Bulanık AHP ile tekrar ağırlıklandırma yapılarak sürekli iyileştirme ve kalitenin sürdürülebilirliği bilincinin oluşturulması ve hataların sırayla elimine edilmesi sağlanabilir. Bu hibrit yaklaşımın devam etmesi sonucunda önleme ve ölçme-değerlendirme maliyetlerinin daha da arttırılarak başarısızlık maliyetlerini minimize edeceği düşünülmektedir. Elektronik sektöründe faaliyet gösteren X Firması'nda uygulanabilen bu yaklaşım, üretim ve hizmet sektörlerinde yer alan diğer kuruluşlarda da izlenebilir niteliktedir.

Çalışmaya ayrıca çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS, ELECTRE, WASPAS vb. eklenerek veya bu yöntemlerin bulanık versiyonları uygulanarak Bulanık AHP ile karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmesi sağlanabilir. FMEA yönteminin yanısıra Bulanık FMEA uygulaması da risklerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi için ilave edilebilir.

Son olarak, müşteri memnuniyetini sürdürmeyi ve hataları minimize etmeyi hedefleyen firmalar için yalnızca toplam maliyetin veya kalite maliyetlerinin düşürülmesi önemli olmamalıdır. Kalite maliyet ölçümlerinde yer alan ve özellikle dış başarısızlık maliyetlerini oluşturan hurdalar, iadeler, üretim kayıpları, imtiyazların yanısıra ölçümü sayısal olarak yapılamayan ve firma için ciddi sonuçlar doğurabilecek müşteri ve pazar kaybı, güven ve imaj kaybı gibi faktörlerin de en az ölçülebilen maliyetler kadar önemli olduğu bilinmektedir ve etkileri daha uzun vadelidir. Bu nedenle X Firması'nın hata sebeplerinde birinci sırada yer alan ve son kullanıcıda güvenlik açısından problem yaratabilecek aşırı ısınma hata tipinde meydana gelen hata sayısı, yapılan iyileştirmeler ile her ne kadar azaltılmış olsa da tamamen ortadan kaldırılması amaçlanmalıdır. Bu amaç doğrultusunda kalite iyileştirme sürecinin ileriki dönemlerinde ürün tasarım ekibine destek sağlayan Y Firması'nın yanında son kullanıcıların da FMEA ve Bulanık AHP yöntemlerinin uygulanma aşamalarına dahil edilmesi, bireysel görüşmeler, anketler, odak grup çalışmaları ve gözlem yapma gibi nitel veri toplama araçlarının kullanımı ile daha fazla veri elde edilmesi ve tümevarım yaklaşımının sergilenmesi, kullanıcı deneyimi tasarımının benimsenmesi ile ürünü deneyimleyen son kullanıcının ürün hakkında düşüncelerinin ve güveninin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmesi tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Acar, D., Papatya, N. (1997). *Tam Zamanında Üretim Uygulamalarında Faaliyet Tabanlı Maliyet Sisteminin Yararlı Hale Getirilmesi*. Süleyman Demirel Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi. (2):161-170.
- Akkoyun, Ö., Ankara, H. (2009). *Cost of quality management: An empirical study from Turkish marble industry*, *Scientific Research and Essay*. 4(11):1275-1285.
- Akın, B. (1998). *Hata türü ve etkileri analizi*. 1. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi. İstanbul.
- Alıcı, Ş. (2007). *Kalite maliyetleri ve kalite maliyetlerinin PAF modeli çerçevesinde test edilmesine yönelik uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Adana.
- Aran, G. (2006). *Kalite iyileştirme sürecinde hata türü etkileri analizi (FMEA) ve bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tokat.
- Aras, Ö. (2016). *İleri Ürün Kalite Planlaması Sürecinde Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) ve Kalite Evi (QFD) Yöntemlerinin Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli.
- Atay, Ö. (2010). *Kalite Maliyetleri ve İzmir İlinde Bir Uygulama*. Celal Bayar Üniversitesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Manisa.
- Ateş E., Oral, A., Gönen, D., İnal, E. P. (2006). *Ayarlanabilir başlıklı delme aparatı için tasarım HTEA uygulaması*. Tasarım İmalat Analiz Kongresi. Balıkesir.
- Atış, C., Kurtlar, M. (2015). *Bir kamu hastanesi işletmesinde kalite maliyetlerinin belirlenmesine yönelik bir uygulama*, *Cag University Journal of Social Sciences*. 12(2): 64-81.
- Aydan, M., Kaya, S. (2017). *Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA): Üniversite Hastanesinde Bir Uygulama*. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi. 20(4):475-502.
- Aydemir, İ., Gürsoy, D. (2003). *Kalite Maliyetlerinin Analizi ve Muğla Mermer Sanayindeki Uygulamaların İncelenmesi*. Türkiye IV Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 589-602.
- Aydın, B. (2018). *Bulanık AHP Yöntemi ile Yenilikçi Projelerin Önceliklendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Ayçin, E. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme Bilgisayar Uygulamalı Çözümler*, Nobel Yayınları, 333, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Badri, M. A. (2001). *A Combined AHP and GP model for Quality Control System*. International Journal of Production Economics. (72):27-40.
- Bayar, N. (2010). *İstanbul Boğaz'ında deniz trafik güvenliğinin risk tabanlı bulanık-AHP ve FMEA yöntemleri ile incelenmesi*. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayrakdar, M. O. (2009). *Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Metodu'nun Bonfiglioli A.Ş. 'de Ortak Uygulaması*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bek, G. A. (2008). *Bir Konfeksiyon İşletmesinde Proses ve Kalite Kontrol*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Adana.
- Bekçi, İ., Toraman, A. (2011). *Kalite maliyetleri ve bir hastanede hesaplanması*. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. 16(2):39-57.
- Besterfield, D. H. (1994). *Quality Control*. ABD: Prentice Hall International Editions.
- Bland, F. M., Maynard, J., Herbert, D. W. (1998). *Quality costing of an administrative process*. TQM Magazine. 10(5):367-377.
- Bolat, T. (2000). *Toplam kalite yönetimi*. 1. Baskı. Beta Basım Dağıtım. İstanbul.
- Bozdemir, E., Ulu, Ö. (2017). *Kalite Maliyetlerinin Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde PAF Modeline Göre Analizi*. Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 7:1.
- BS 6143-2. (1990). *Guide to the Economics of Quality, Part-2: Prevention, Appraisal and Failure Model*, British Standards Institution, London.
- Burnak, N. (1988). *Çok Değişkenli Kalite Kontrolünde Maliyet Analizi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları.
- Buzlu, H. B. (2011). *Kalite Yönetim Sistemleri*. İzmir: Zeus Yayınları.
- Büyüközkan, G., Kahraman, C., Ruan, D. (2004). *A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection*. International Journal of General Systems, 33:259-280.
- Büyüktuna, O. (2012). *Hata türü ve etkileri analizi ve makine sanayinde bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Ceylan, G. (2012). *Önleme-Değerlendirme-Başarısızlık Modeli ile Kalite Maliyet Sisteminin Yapılandırılmasına Yönelik Bir Uygulama*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Chang, D. Y. (1996) *Applications of The Extent Analysis Method on Fuzzy AHP*, European Journal of Operational Research, 95(3):649-655.
- Chang, D. S., Sun, K. P. (2009). *Applying DEA to Enhance Assessment Capability of FMEA*, International Journal of Quality & Reliability Management, 26(6):629-643.
- Chen, S., Hwang, C., Hwang, F. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*, Springer-Verlag, Germany.
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is Free*, ABD: McGraw Hill.
- Çabuk, Y. (2005). *Kalite Maliyetleri ve Kalite Maliyetlerini Ölçmede Kullanılan Yöntemler*, ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 7(7):1-8.
- Çeber, Y. (2010). *Hata türü ve etkileri analizi yönteminin (FMEA) üretim sektöründe uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Çetin, C. (2010). *Toplam Kalite Yönetimi, İlke-Süreç-Uygulama*. İstanbul: Beta Yayınları.
- Çil, E., Ağ, A. (2019). *Toplam Kalite Yönetimi Çerçevesinde Kalite Maliyetlerinin PAF Modeline Göre Tespit Edilmesi ve Muhasebeleştirilmesine Yönelik Bir Uygulama*, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 33(3).
- Çitli, N. (2006). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Dağdeviren, M., Akay, D., Kurt, M. (2004). *İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması*, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 19(2):131-138.
- Dalcı, İ., Tanış, V. N. (2002). *Quality costs and their importance in cost and management accounting*. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 10(10):134-147.
- Demir, Ö., Gülcü, Y. (2012). *Sanayi İşletmelerinde Kalite Maliyetleri ve Uygulamalarının İncelenmesi: Elâzığ Organize Sanayi Bölgesinde Yapılan Bir Araştırma*. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 22(2).
- Demircioğlu, E. N., Küçüksavaş, N. (2009). *Kalite Maliyetleri*. Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13(1).
- Desai, D. A. (2008). *Cost of quality in small- and medium-sized enterprises: case of an Indian engineering company*. Production Planning & Control, 19(1):25-34.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Down, M., Brozowski, L., Younis, H., Benedict, D., Feghali, J., Schubert, M., Brender, R., Gruska, G., Vallance, G., Krasich, M., Haughey, W. (2008). *Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Reference Manual (4th Ed.)*. Chrysler LLc, Ford Moyor Company, General Motors Corportion.
- Duran, A. (2007). *Bina doğalgaz iç tesisatı imalatı için hata türü ve etkileri analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Durhan, D. (2006). *Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama (Tez)*. Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Eleren, A. (2007). *Eğitim Başarısının Artırılmasında Süreç Geliştirme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama*. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 9(2).
- Elitaş, C , Eleren, A. (2007). *Hedef Maliyetlemede Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemi ile Risklerin Değerlendirilmesi*. Muhasebe ve Finansman Dergisi, (36):114-124.
- Erginel, M. N. (2004). *Tasarım hata türü ve etkileri analizinin etkinliği için bir model ve uygulaması*. Endüstri Mühendisliği, 15(3):17-26.
- Erik, D. (2005). *Firmaların Başarı Kriterlerinin Tanımlanması ve Çalışanların Memnuniyeti Kriterinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Ölçülmesi*. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(1):31-42.
- Eryürek, Ö. F., Tanyaş, M. (2003). *Hata türü ve etkileri analizi yönteminde maliyet odaklı yeni bir karar verme yaklaşımı*. İTÜDERGİSİ, 2(6): 31-40.
- Feigenbaum, A. V. (1991). *Total Quality Control* (3 b., Cilt 1). New York, USA: McGraw-Hill.
- Foster Jr., S. T. (1994). *An Examination of the Relationship Between Conformance and Quality Related Costs*. International Journal of Quality ve Reliability Management, 13(4): 50-63.
- Gilchrist, W. (1993). *Modelling Failure Modes and Effects Analysis*. International Journal of Quality and Reliability Management, Bradford.
- Ginn, D. M., Jones, D. V., Rahnejat, H., Zairi, M. (1998). *The “QFD/FMEA interface”*. European Journal of Innovation Management, 1(1):7-20.
- Goulden, C., Rawlins, L. (1997). *Quality costing: the application of the process model within a manufacturing environment*. International Journal of Operations & Production Management, 17(2):199-210.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Göksu, A. (2008). *BAHP ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Gülçiçek, B. (2014). *Bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi ile Hata Türü ve Etkileri Analizinin Bir Ambalaj Firmasında Uygulanması*, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Güner, H. (2005). *Bulanık AHP ve Bir İşletme İçin Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması*. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 146, Denizli.
- Hassan, A., Ridwan, M., Purnomo, A., Anugerah, A. R. (2020). *Fuzzy-analytical-hierarchy process in failure mode and effect analysis (FMEA) to identify process failure in the warehouse of a cement industry*, Journal of Engineering, Design and Technology, 18(2):378-388.
- Hsiao, S. W. (2002). *Concurrent design method for developing a new product*. International Journal of Industrial Ergonomics, 29(1), January.
- Ilangkuraman, M., Shanmugam, P., Sakthivel G., Visagavel K. (2014). *Failure mode and effect analysis using fuzzy analytic hierarchy process*. Int. J. Productivity and Quality Management, 14(3):296-313.
- Jafar, A., Mohammad, T., Fariba, E. Mehrdad, G. C. (2010). *Effect of the Quality Costing System on Implementation and Execution of Optimum Total Quality Management*. International Journal of Business Management, 5(8):19-26.
- Juran, J. M. (1988). *Juran's quality control handbook*. McGraw-Hill, New York, 30- 37.
- Juran, J. M., Gryna F.M. (1989). *Juran on Leadership for Quality: An Executive Handbook*. ABD: The Free Press.
- Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan, D. (2004). *Multi-attribute Comparision of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey*, Int. J. Prod. Economics, 87:171-184.
- Kahraman, Ö. (2009). *Bir otomobil fabrikasında iş sağlığı ve güvenliği alanında HTEA (FMEA) yöntemi ile risk analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kahraman, Ö., Demirer, A. (2010). *OHSAS 18001 Kapsamında FMEA Uygulaması*. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1):53-68.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Karatop, B., Taşkan B., Adar, E., Kubat C. (2020). *Decision analysis related to the renewable energy investments in Turkey based on a Fuzzy AHP-EDAS-Fuzzy FMEA approach*. Computers & Industrial Engineering.
- Kaplan, R. S., Cooper, R. (1998). *Cost and Effect: Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance*. ABD: Harward Business School Press.
- Karcıoğlu, R. (2000). *Stratejik Maliyet Yönetimi Maliyet ve Yönetim Muhasebesinde Yeni Yaklaşımlar*. 1.baskı, Aktif Yayınevi, Erzurum.
- Kavrakoğlu, İ. (1998). *Toplam Kalite Yönetimi*, Kalder Yayınları, İstanbul.
- Kaygusuz, F. (2017). *Kalite Maliyetlerinin PAF Modeli Çerçevesinde İncelenmesi ve Bir Medikal Parça Üretim İşletmesinde Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Kefe, İ., Tanış, N. V. (2014). *Kalite Maliyetleri ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama*. World Of Accounting Science, 16(1).
- Kendirli, S., Çağırın, H. (2002). *Sanayi işletmelerinde kalite maliyetlerinin oluşumu ve muhasebeleştirilmesi*, G.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi, 1/2002:127-154.
- Keskin, S. (2007). *Bir Cam Üretim İşletmesinde Kalite Maliyetlerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Korkmaz, E. (2010). *Hata Türleri ve Etkileri Analizi ve Otomotiv Yan Sanayi Sektöründe Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Küçük, O. (2004). *Standardizasyon ve Kalite*. Seçkin Yayıncılık.
- Küçük, O. (2010). *Kalite Kontrol ve Kalite Güvence Sistemleri*. 4. Baskı, Seçkin Yayıncılık.
- Li, D. F., Yang, B. (2004). *Fuzzy linear programming technique for multiattribute group decision making in fuzzy environments*. Information Sciences, 158(1): 263-275.
- Lin, M. C., Wang, C. C., Chen, M. S., Chang, C. A. (2008). *Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process*. Comput. Ind., 59(1):17-31,
- Liu, H. T., Tsai, Y. L. (2012). *A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry*. Safety Science, 50:1067-1078.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Liu, H. C., You, J. X., You X. Y., Meng-Meng, S. (2015). *A Novel Approach For Failure Mode and Effects Analysis Using Combination Weighting and Fuzzy VIKOR Method*. Applied Soft Computing, 28:579-588.
- Lofthouse, T. (1999). *The Taguchi Loss Function*. MCB University Press, 48(6):218-222.
- Mahiroğlu, A., Buluç, B. (1999). *Eğitimde toplam kalite yönetimi ve kalite yönetiminin araçları*. Politeknik Dergisi, 2(1).
- Manap Davras, G., Karaatlı, M. (2014). *Otel İşletmelerinde Tedarikçi Seçimi Sürecinde AHP ve BAHP Yöntemlerinin Uygulanması*, Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 32(1):87-112.
- Mayyas, A. (2011). *Using Quality Function Deployment and Analytical Hierarchy Process for Material Selection of Body-In-White*. Materials and Design, 32(5):2771-2782.
- Okumuş, F. (2015). *Taşıyını Üretim Tesisinde Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Taguchi Deney Tasarımının Birlikte Uygulanması*. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Onat, A. (2020). *Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama*. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Omachonu, V. K., Suthummanon, S., Einspruch, N. G. (2004). *The relationship between quality and quality cost for a manufacturing company*. International Journal of Quality & Reliability Management, 21:277-290.
- Ödük, M. N. (2019). *Bulanık Mantık Yöntemi ve Uygulamaları*. Ankara: Iksad Publications.
- Ömürgönülşen, M. (2007). *Gıda Sektöründe Kalite Maliyetlerinin Ölçümü Üzerine Bir Araştırma*. Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara.
- Özen, M. (2020). *Covid-19 Salgını Ortamında Otomotiv Yan Sanayi Sektöründe Tedarikçi Seçiminde AHP, Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yaklaşımı*. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Özfırat, P. (2014). *Bulanık Önceliklendirme Metodu ve Hata Türü ve Etkileri Analizini Birleştiren Yeni Bir Risk Analizi Yöntemi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(4):775-768.
- Özkan, S., Karabrahimoğlu Zengin, Y. (2013). *Activity-based costing approach in the measurement of cost of quality in SMEs: a case study*. Total Quality Management, 24(4):420-431.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Özkılıç, Ö. (2005). *İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri*.
- Öztürk, A. (2009). *Kalite Yönetimi ve Planlaması*. Bursa: Ekin Yayınları.
- Öztürk, Y. E. (2016). *Laboratuvar Çalışanlarının Karşılaştığı Fiziksel Risklerin Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ile Değerlendirilmesi: Bir Üniversite Hastanesi Örneği (Tez)*. Selçuk Üniversitesi, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Peker, Ö. (1993). *Toplam Kalite Yönetimi ve TS-ISO 9000 Standartları*. Verimlilik Dergisi, MPM Özel Sayı, s.49.
- Peker, D. (2014). *Ar-Ge Projelerinin Önceliklendirilmesi ve Seçimi İçin Çok Kriterli Bir Model Önerisi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*, Mc Growhill Company, New York, p.54.
- Saaty, T. (1990). *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*. European Journal of Operation Research, 48(1):9-26.
- Sachdeva, A., Kumar, D., Kumar, P. (2008). *A Methodology to Determine Maintenance Criticality Using AHP*. Int. Journal of Productivity and Quality Management, 3(4):396 – 412.
- Salık, Ç. (2014). *Kalite maliyetleri ve kalite maliyetlerinin muhasebeleştirilmesi: Bir sağlık işletmesinde uygulama*. Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Shaygan, A. (2016). *Kalite İyileştirme Projelerinin Seçiminde Neden Sonuç Diyagramı ve Bulanık AHP Temelli Bir Yöntem*. Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Shieh, M. D., Li, Y., Yang, C. C. (2017). *Product form design model based on multiobjective optimization and multicriteria decision-making*. Math. Probl. Eng., c. 2017, Art. no. 5187521.
- Schiffauerova, A., Thomson, V. (2006). *A review of Research on Cost of Quality Models and Best Practices*. International Journal of Quality and Reliability Management, 23(6):647-669.
- Sofyalıoğlu, Ç., Öztürk, Ş. (2012). *Application of Grey Relational Analysis With Fuzzy AHP to FMEA Method*. Doğu Üniversitesi Dergisi, 13(1):114-130.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Stamatis, D. H. (1995). *Failure Mode and Effects Analysis – FMEA from Theory to Execution*. 2nd edn, Asq Pr America: Quality Press Publishing.
- Stamatis D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. 2nd ed., ASQC Quality Pres, Wisconsin.
- Susuz, Z. (2005). *Analitik Hiyerarşi Prosesi'ne Dayalı Optimum Tedarikçi Seçim Modeli*. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Şahin, Y. (2013). *Analitik Hiyerarşi Süreci ile Bir Basketbol Uygulaması*. Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bölüm Projesi, Kocaeli.
- Şimşek, M. (1998). *Kalite Yönetimi*, 2. Baskı, Alfa Basım Yayın, Marmara Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Şimşek, M. (2007). *Toplam Kalite Yönetimi*. İstanbul: Alfa Yayınları.
- Şimşek, K., Karakaya, M. (2016). *Turizm işletmelerinde kalite maliyetleri yönetimi ve otel işletmeleri üzerinde bir inceleme*. Öneri Dergisi, 12(46):201-222.
- Şişman, B. (2017). *Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleri ile Otomotiv Sektöründe Risk Değerlendirmesi*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(18):234-250.
- Su, C. T., Chou, C. J. (2008). *A Systematic Methodology for the Creation of Six Sigma Projects: A Case Study of Semiconductor Foundry*, Expert Systems with Applications, 34(4):2693-2703.
- Tam, M., Tummala, V. (2001). *An Application of The AHP in Vendor Selection of a Telecommunications System*. The Int. Journal of Management Science, 29(2):171-182.
- Taş, Y. (2010) *Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) Tekniğinin Mobilya Endüstrisine Yönelik Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Taşan, K. (2006). *Bir Risk Değerlendirme ve Güvenilirlik Metodu Olarak Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) Yöntemi: Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde Uygulanması*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Taşçı, D., Çabuk, S. N. (2013). *Kalite Yönetim Sistemleri*, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları, Eskişehir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Taştan, H. (2014). *Kısıt Yönetiminde Kalite Maliyetlerinin Kullanımı: Bir Otel İşletmesinde Uygulama*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Toklu, M. C., Bozkurt, İ., Sekmen, B. (2019) *Bulanık AHP ve Bulanık WASPAS Yaklaşımı ile Kaizen Öneri Sistemi Değerlendirme Modeli*. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 8(1):128-138.
- Topçu, N. (2005). *Faaliyete Dayalı Maliyetleme Yöntemine Göre Kalite Maliyetlerinin Ölçülmesi -Tekstil Sektöründe Bir Uygulama*.
- Toraman, A. (2010). *Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Maliyet Hesaplaması: SDÜ Araştırma Uygulama Hastanesi Uygulaması*. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Turan, M., Ocaktan D. (2019). *Transformatör üreten bir firmada risk analizinde bulanık HTEA kullanımı ve uygulama yazılımı geliştirme* BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 21(1):474-487.
- Türkmen İ. (1996). *TKY Geçiş ve Uygulamada Başarıyı Engelleyen Faktörler*. Verimlilik Dergisi, Toplam Kalite Özel Sayısı, s.146.
- Yamak, O. (1998). *Kalite Odaklı Yönetim*. Panel Matbaacılık.
- Yazdi, M., Daneshvar, S., Setareh, H. (2017). *An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis application for aircraft landing system*. Safety Science, 98:113-123.
- Yıldırım, B. F., Önder, E. (2015). *İşletmeciler , mühendisler ve yöneticiler için operasyonel yönetsel ve stratejik problemlerin çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Dora Yayınevi.
- Yıldırım, H., Saylık, B. (2009). *Kalitesizlik maliyetleri üzerine bir inceleme*. Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 26(1):239-267.
- Yılmaz, M. (2003). *Kalite Yönetim Sistemlerinin Evrimi ve Toplam Kalite Yönetiminin Banknot Matbaası Genel Müdürlüğünde Uygulanabilirliği*. Uzmanlık Yeterlilik Tezi, Ankara: T.C. Merkez Bankası Piyasalar Genel Müdürlüğü.
- Yörükoğlu, H. (2014). *Yenilenebilir enerji kaynakları risklerinin Bulanık-FMEA yöntemi ile analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Yörür, P. (2005). *Analitik hiyerarşi süreci ile süreç hata türü analizi ve bir uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Yükçü, S. (1999). *Kalite Maliyetlerinin Muhasebeleştirilmesi (Kalite Muhasebesi)*. Anadolu Matbaacılık, İzmir.