



T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

**HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZ YÖNTEMİ (FMEA)
İLE PROBLEM ÇÖZÜMÜ VE OTOMOTİV YANSANAYI
İŞLETMESİNDE UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NESİMİ KÖK

Düzce
Haziran, 2017



T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

**HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZ YÖNTEMİ (FMEA)
İLE PROBLEM ÇÖZÜMÜ VE OTOMOTİV YANSANAYI
İŞLETMESİNDE UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NESİMİ KÖK

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Selami YILDIZ

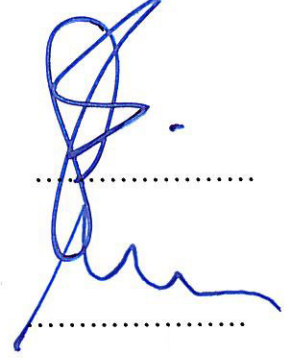
Bu tez çalışması Düzce Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı (DÜBAP) tarafından 2016.08.01.459 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Düzce
Haziran , 2017

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından İŞLETME Anabilim Dalında oy birliği / oy çokluğu ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan Prof. Dr. Mehmet Selami YILDIZ



Üye Doç. Dr. Mustafa Cahid ÜNGAN

Üye Yrd. Doç. Dr. Faruk Kerem ŞENTÜRK



Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

16/06/2017



Prof. Dr. Mehmet Selami YILDIZ
Enstitü Müdürü

ÖZET

HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZ YÖNTEMİ (FMEA) İLE PROBLEM ÇÖZÜMÜ VE OTOMOTİV YANSANAYİ İŞLETMESİNDE UYGULAMA

NESİMİ KÖK

Yüksek Lisans Tezi

İşletme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Selami YILDIZ

Haziran, 2017, 138 Sayfa

İşletmeler giderek zorlaşan rekabet ortamında pazarda kalabilmek ve öne geçebilmek için müşteri beklentilerini karşılamak zorundadır. Günümüzde, müşteri beklentilerine bağlı olarak ürünler giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Bununla birlikte, karmaşık ürünlerin tasarımı ve üretimi bir çok faktörün bir uyum içerisinde sağlanması ile mümkün olmaktadır. Özellikle Otomotiv sektöründe binlerce parçanın bir arada hatasız çalışabilmesi hedeflenmiştir. Orjinal Ekipman Üreticileri (Original Equipment Manufacturer)-OEM olarak adlandırılan ana sanayi işletmelerinin; yan sanayilerden öncelikli olarak istekleri tedarik edilen ürünlerde hata olmamasıdır. Yan sanayi işletmelerin hataları tasarım ve üretim aşamalarında ortaya çıkarıp müşterilerine hatasız ürün sunmaları için süreçlerinde risk analizi yapmaları kaçınılmaz hale gelmiştir. Risk analizi uygulamalarından Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA); sistem, ürün, proses ve hizmetten kaynaklanan potansiyel hatalara ait risklerin belirlenmesi ve yönetilmesi açısından güçlü bir yöntemdir.

Bu çalışmada otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin kaplama hazırlama prosesine yönelik Proses FMEA çalışması hazırlanmıştır. P-FMEA kapsamında ortaya çıkan risklere karşılık alınması gereken aksiyonlar tanımlanmış ve işletmeye sunulmuştur. Sonrasında işletmenin ihtiyaç duyulan yatırımları yapması ile riskler minimize edilmiştir. Bu yatırım ile prosesin insan faktöründen otomasyona geçişi sağlanarak inovatif ve teknolojik bir uygulama entegre edilmiştir. Ayrıca otomotiv sektöründe uygulanan FMEA metodolojisine ait farklılık ve güncel bilgiler ile literatüre uygulama zenginliği kazandırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: FMEA, PFMEA, Otomotiv sektöründe FMEA, Risk Yönetimi, RPN

ABSTRACT

PROBLEM SOLVING WITH FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) METHOD: AN APPLICATION IN AUTOMOTIVE PARTS INDUSTRY

NESİMİ KÖK

MASTER THESIS

Department of Business Administration

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Selami YILDIZ

June, 2017, 138 Pages

Companies have to be supplied customer expectations in order to be able to lead in the market and become competitive in an increasingly difficult competitive environment. Recently, products are becoming more complex depending on customer requests. In the meantime the design and production of complex products are made possible by a combination of many factors. Especially; In the automotive industry, it is achieved target that many of parts could run be in harmony without failure. (OEM) - The Automotive companies, which are called OEM (Original Equipment Manufacturer) are requested there is no failure in the products which are supplied primarily from supplier company. The failures of supplier companies must be occurred during the design and production steps to provide customers without failure products which has become mandatory to supplier companies to preventive failure in their design and process steps. Failure and Effects Analysis (FMEA) from risk analysis applications which is strong method to identifying and managing of the risks of potential failures occurring from system, product, process and service.

In this study, Process FMEA study was prepared for coating preparation process of an automotive supplier industry. Corrective actions were defined and prepared after P-FMEA study according to result of risk analysis. Subsequently, The risks were minimized making with necessary investments by the company. By this investment, an innovative and technological application has been integrated by ensuring the transition of the process from human factor to automation. In addition, the differences and updated information according to FMEA from automotive industry are provided to literature as an application.

Keywords: FMEA, PFMEA, FMEA in Automotive Industry, Risk Management, RPN



Kıymetli Anneme ve Babama...

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasında, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen herkese ok teşekkür ederim. Özellikle, tez danıőmanım Prof. Dr. Mehmet Selami YILDIZ hocama çalıőmam sırasında desteklerini esirgemediği için, sürekli moral ve motivasyonumu sağladığı için çok teşekkür ederim. Ayrıca, Düzce Üniversitesi İşletme Fakültesi'ndeki değerli hocalarıma yüksek lisans programım içerisindeki katkılarından dolayı teşekkür ederim. Çalışma hayatımdaki yöneticilerim ve mesai arkadaőlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Son olarak, bana güveni sonsuz olan Aileme ve tez çalıőmamdaki desteğini hiç esirgemeyen Düzce Üniversitesi Yönetim Biliőim Sistemleri yüksek lisans ğrencisi Alev ALPMAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmayı destekleyen Düzce Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na (DÜBAP) teşekkür ederim.

Nesimi KÖK

JÜRİ ÜYELERİNİN İMZA SAYFASI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
İTHAF	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
EKLER LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR..	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırmanın Problemi.....	3
1.2. Araştırmanın Amacı.....	3
1.3. Araştırmanın Önemi	4
1.4. Araştırmanın Sınırlılıkları.....	4
2. HATA TÜRÜ ETKİLERİ ANALİZİ (FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS –FMEA) METODOLOJİSİ.....	6
2.1. FMEA Tanımı.....	6
2.2. FMEA Tarihçesi.....	7
2.3. FMEA Türleri	12
2.3.1. Dizayn FMEA.....	12
2.3.2. Proses FMEA.....	13
2.3.3. Makine/Ekipman FMEA.....	14
2.4. FMEA ’ nın Amaçları	15
2.5. FMEA ’nın Uygulandığı Durumlar	15
2.6. FMEA Ekibi.....	16
2.7. FMEA Kapsamının Belirlenmesi	18
2.8. FMEA İle İlgili Kavramlar	19
2.8.1. Müşteri	19
2.8.2. Fonksiyonlar, Gereksinimler, Adımlar.....	19
2.8.3. Potansiyel Hata Türleri.....	20

2.8.4. Potansiyel Etki.....	20
2.8.5. Potansiyel Kök Nedenler	21
2.8.6. Kontroller	21
2.8.7. Risk Değerlendirme	22
2.8.8. FMEA'da kullanılan Kalite Araçları.....	23
2.8.8.1. Balık Kılçığı.....	23
2.8.8.2. Pareto Diyagramı.....	23
3. DIZAYN FMEA	25
3.1. Dizayn FMEA Girdileri	25
3.1.1. Sınır Diyagram.....	26
3.1.2. P-Diyagramı	28
3.2. Dizayn FMEA Uygulama Formu	31
3.2.1. Fonksiyon.....	33
3.2.2. Potansiyel Hata Türü.....	33
3.2.3. Hatanın Potansiyel Etkisi.....	34
3.2.4. Şiddet	35
3.2.5. Sınıf/ Özel Karakteristik	35
3.2.6. Potansiyel Kök Nedenler /Hatanın Mekanîği	38
3.2.7. Görülme Sıklığı-Olasılık	38
3.2.8. Mevcut Kontroller	39
3.2.9. Yakalanabilirlik	42
3.2.10. Risk Öncelik Puanı (RPN)	46
3.2.11. Tavsiye Edilen Aksiyonlar ve Alınan Önlemler	50
3.3.Dizayn FMEA Çıktıları.....	51
4. PROSES FMEA	53
4.1. Proses FMEA'nin Girdileri.....	53
4.2. Proses FMEA Formu.....	53
4.2.1. Proses FMEA – Fonksiyon/ Gereklilik.....	54
4.2.2. Proses FMEA – Potansiyel Hata Türü	54
4.2.3. Proses FMEA – Hatanın Potansiyel Etkisi.....	58
4.2.4. Proses FMEA – Şiddet	59
4.2.5. Proses FMEA – Hatanın Kök Nedeni / Mekanîği	62
4.2.6. Proses FMEA – Görülme Sıklığı –Olasılık.....	62

4.2.7. Proses FMEA – Mevcut Proses Kontrolleri.....	64
4.2.8. Proses FMEA – Yakalanabilirlik.....	65
4.2.9. Proses FMEA – Risk Öncelik Puanı.....	68
4.2.10. Proses FMEA – Tavsiye edilen Aksiyon ve Önlemler.....	71
4.3. Proses FMEA'nin Çıktıları.....	72
5. UYGULAMA.....	75
5.1. FİRMA ve PROSES Tanıtımı.....	75
5.2. Proses Akışı.....	76
5.2.1. Karışımın Hazırlanması.....	77
5.3. Problem Tanımı.....	79
5.4. FMEA'nın Uygulanması.....	80
5.4.1. FMEA Ekibinin oluşturulması.....	80
5.4.2. Potansiyel Hata Türleri.....	81
5.4.3. Hatanın Potansiyel Etkisi.....	82
5.4.4 Potansiyel Kök Nedeni / Hatanın Mekanîği.....	83
5.4.5 Mevcut Proses Kontrolleri.....	89
5.4.6. Risk Öncelik Puanı (RPN).....	89
5.5. Proses FMEA Çıktıları.....	104
5.5.1 Proses FMEA Kontrol Listesi.....	104
5.5.2 Kontrol Planı.....	107
6. SONUÇ.....	109
7. KAYNAKÇA.....	115
8. EKLER.....	127

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Dizayn FMEA Şiddet Değerlendirme Tablosu.....	37
Tablo 2. Dizayn FMEA Olasılık/Görülme Sıklığı Değerlendirme Tablosu.....	41
Tablo 3. Dizayn FMEA Yakalama Kriterleri.....	44
Tablo 4. Risk Karşılaştırma	47
Tablo 5. Fiat Risk Öncelik Değerlendirmesi.....	49
Tablo 6. Renault Risk Öncelik Değerlendirmesi.....	50
Tablo 7. Dizayn FMEA Kontrol Listesi.....	52
Tablo 8. Proses FMEA Şiddet Değerlendirme Kriterleri.....	60
Tablo 9. Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Kriterleri.....	63
Tablo 10. Proses FMEA Yakalama Değerlendirme Kriterleri.....	67
Tablo 11. Fiat Risk Öncelik Değerlendirmesi.....	70
Tablo 12. Renault Risk Öncelik Değerlendirmesi.....	71
Tablo 13. Proses FMEA Kontrol Listesi.....	73
Tablo 14. Uygulamaya Yönelik Potansiyel Kök Nedenler.....	84
Tablo 15. Proses FMEA Kontrol Listesi.....	105

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Sınır Diyagram.....	27
Şekil 2. P-Diyagramı	30
Şekil 3. Dizayn FMEA Uygulama Formu.....	32
Şekil 4. Şiddet ve Olasılık Değerlendirme Matrisi	48
Şekil 5. Proses FMEA Uygulama Formu_Örnek.....	57
Şekil 6. Şiddet ve Olasılık Değerlendirme Matrisi.....	69
Şekil 7. Hazırlama Prosesi –Balık kılçığı.....	86
Şekil 8. Tartım Prosesi- Balık Kılçığı.....	87
Şekil 9. Kaplama Prosesi-Balık Kılçığı.....	88
Şekil 10. Şiddet ve Olasılık Matrisi.....	90
Şekil 11. Proseslere göre Risk Puanları (Öncesi/Sonrası).....	91
Şekil 12. Yanlış Malzeme Seçim Hata Türüne Göre RPN.....	92
Şekil 13. Uygun Olmayan Ölçüm Aletinin Kullanılması Hata Türüne Göre RPN.....	93
Şekil 14. Fazla/ Eksik Tartım Yapılması Hata Türüne Göre RPN.....	94
Şekil 15. Karışım sıralamasının karıştırılması Hata Türüne Göre RPN.....	95

ŞEKİLLER LİSTESİ-DEVAM

Şekil 16. Köpük Olması HataTürüne Göre RPN.....	96
Şekil 17. Homojen Karışım Olmaması HataTürüne Göre RPN.....	97
Şekil 18. Karışım Bozulması HataTürüne Göre RPN.....	98
Şekil 19. Reçeteye Uygun Olmayan Karışım” HataTürüne Göre RPN.....	99
Şekil 20. Proses Sonrası Malzemeye ait testlerin olmaması HataTürüne Göre RPN.....	100
Şekil 21. Yabancı Madde Bulaşması HataTürüne Göre RPN.....	101
Şekil 22. Dökülme Problemi HataTürüne Göre RPN.....	102
Şekil 23. Kaplama Prosesine Göre RPN (Öncesi / Sonrası).....	103
Şekil 24. Kontrol Plan	108

EKLER LİSTESİ

EK-1 Müşteri Özel Karakteristik Tanımlamaları

EK-2 Proses FMEA Çalışma Formu

EK-3 Kaplama Hazırlama Proses- Öncesi

EK-4 Kaplama Hazırlama Proses- Sonrası



KISALTMALAR

FMEA: Failure Mode Effects Analysis (Hata Türü Etkileri Analizi)

IATF: International Automotive Task Force (Uluslararası Otomotiv İş Gücü)

AIAG: Automotive Industry Action Group (Otomotiv Sanayi Aksiyon Grubu)

VDA: Verband der Automobilindustrie (Alman Otomotiv Endüstri Organizasyonu)

PPM: Parts Per Million (Milyonda bir)

PFMEA: Process Failure Mode Effects Analysis (Proses Hata Türü Etkileri Analizi)

DFMEA: Design Failure Mode Effects Analysis (Dizayn Hata Türü Etkileri Analizi)

MFMEA: Machinery Failure Mode Effects Analysis (Makine Hata Türü Etkileri Analizi)

RPN: Risk Priority Number (Risk Öncelik Puanı)

SPC: Statistical Process Control (İstatistiksel Proses Kontrol)

DOE: Design of Experiment (Deney Tasarımı)

OEM: Original Equipment Manufacturer (Orjinal Ekipman Üreticisi)

SAE: Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Derneği)

FEA: Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Analizi)

APQP: Advanced Product Quality Planning (İleri Ürün Kalite Planlaması)

POKA-YOKE: Hata Önleme Teknikleri

PPAP: Production Part Approval Process (Üretim Parçası Onay Prosesi)

MSA: Measurement System Analysis (Ölçüm Sistemleri Analizi)

KNOW-HOW: Sahip olunan teknik, yönetsel, teknolojik yazılı veya sözlü bilgi ve tecrübe.

1. GİRİŞ

Üretim işletmelerinde potansiyel hataların henüz ürünün tasarım aşamasında iken belirlenmesi ve bu hataların oluşturacağı risklerin analiz edilerek yönetilmesi günümüzde çok önemlidir. Müşterilerin algısı ve beklentisi teknolojik gelişmelerle birlikte farklı bir boyut kazanarak daha karmaşık ve yönetilmesi zor hale gelmiştir. Pazarda tutunabilmek için ürün ve proses güvenilirliğinin sağlanması gereklidir. Bunu sağlayabilmek için kullanılan birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlayan; artan pazar talepleri, müşteri odaklılık, maliyet, zaman kısıtı, yoğun rekabet baskısı, ürün sorumluluğunda yerine getirilmesi gereken yasalar/yönetmelikler, teknolojik gelişmeler ve küreselleşme bulunmaktadır. Üretim faaliyetlerinin standart olmasını sağlayan kalite yönetim sistemlerinin de; bu yöntemleri zorunlu hale getirmesi yaygın kullanımın nedenleri arasında yer almaktadır.

Yeni ürünün ortaya çıkmasından, ürünün müşteriye teslimi ve sonrasında garanti aşamasına kadar geçen süreç içerisinde ürün güvenilirliğinin artırılmasına ihtiyaç vardır. Bunu yapabilmek için de potansiyel risklerin, tasarım ve proses aşamalarında ortaya konularak çözülmesi gereklidir. Bu yönüyle çok güçlü olan Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), ürüne ve müşteriye olan güvenilirliğin artırılması amacıyla kullanılan risk analiz yöntemleri arasında ön plana çıkmaktadır.

FMEA çalışmaları aynı zamanda Otomotiv Sektörü IATF 16949:2016 Kalite Yönetim Sistemleri Standardı ve müşteri özel isteğine göre de bir gerekliliktir. Luczak ve Wolniak'ın 2015 yılında yaptığı çalışma da otomotiv sektörü tedarikçilerinin % 99'u FMEA'nın müşteri isteğinden, % 78'i ISO/TS 16949 gerekliliğinden, % 62'si de organizasyonun kendi kültürü ve problem çözme tekniği açısından ihtiyaç olduğunu belirlemiştir.

FMEA; bir ürün veya prosese ait potansiyel hataların ve bu hataların iç-dış müşteri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi, potansiyel hatanın oluşma olasılığını azaltacak veya ortadan kaldıracak aksiyonların tanımlanması ve tüm faaliyetlerin dökümanate edilmesi için oluşturulan sistematik aktiviteler topluluğudur (AIAG, 2008).

FMEA; dizayn ve prosesten kaynaklanan hata türleri üzerine odaklanarak sadece gerçekleşmiş değil, gerçekleşmesi muhtemel potansiyel hataların da risklerini belirleyerek önceliklendirir. Analizin öncelikli amacı; potansiyel risklerin ortaya çıkmalarını engellemektir, hataların müşteriye ulaşma riskini ortadan kaldırmak veya bu riskin kabul edilebilir bir seviyeye indirilmesini sağlamaktır. Diğer amaçları içerisinde; analizin dökümanite edilmesi ile işletme hafızasına katkı sağlaması yer almaktadır. Ayrıca sürekli gelişme ve inovatif çalışmalar için imkan oluşturması da amaçları arasında yer almaktadır (Scipioni vd, 2002).

FMEA analizinin yararları arasında; müşteri memnuniyetinin artırılması, pazarda rekabet avantajının kazandırılması, ürün/proses kalitesi ve emniyetinin artırılması, işletme imajının desteklenmesi, işletmenin sahip olduğu teknik bilgi birikiminin artırılması, sonradan yapılan mühendislik değişikliklerin ve buna bağlı maliyetlerin azaltılması, yeni projeler için referans oluşturulması sayılabilir (VDA 4, 2012).

FMEA çalışmalarını sistematik olarak uygulayan işletmelerin; düşük maliyet ile en az hata ve en kısa sürede ürün tasarlayarak/üretmek, yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip ürünleri ile pazarda ciddi bir rekabet avantajı sağladığı görülmektedir. FMEA analizlerinde kullanılan dökümanların sürekli güncellenmesi gerektiğinden FMEA çalışması yaşayan bir döküman olarak adlandırılmaktadır. Yaşayan bir döküman olması sürekli gelişme ile organizasyonel farkındalığı artırmaktadır (SAE J1739, 2009).

FMEA çalışmasının işletmeye somut çıktılar sağlayabilmesi için analiz kapsamında tanımlanan aksiyonların/faaliyetlerin sonuçlandırılması gereklidir. Aksi halde çalışmanın yararları sınırlı kalarak sadece döküman olarak değerlendirilecektir. FMEA çalışması bir defa uygulandıktan sonra; hızlı ve ani sonuçlar beklenmemelidir. Analize devam ederek uzun vadeli ekonomik kazançların değerlendirilmesi temel bakış açısı olarak ele alınmalıdır. FMEA çalışmalarının analiz süresini kısaltmak ve etkinliğini arttırmak için profesyonel özel yazılımlar kullanılması uygun olacaktır.

FMEA ilk çıktığı yıllardan günümüze kadar bir çok sektörde 40 yılı aşkın süredir uygulanmış ve sürekli olarak geliştirilmiştir. FMEA, üretim sektöründe yaygın

olarak kullanılan bir analizdir. Özellikle otomotiv sektöründe önemli bir risk analiz yöntemi olarak kullanılmaktadır (Elliott, 1998: 12).

1.1.Araştırmanın Problemi

Otomotiv sektörünün ana sanayileri olarak adlandırılan OEM'lerin (Original Equipment Manufacturer-Orjinal Ekipman Üreticileri) FMEA metodu açısından yansanayi firmalardan beklentileri sürekli değişmektedir. Bu değişikliklerin yansanayi firmalar tarafından takibi ve güncelliği önem kazanmaktadır. Bu çalışma ile farklı müşteri gruplarının güncel FMEA işleyişleri bir araya getirilerek, literatüre ve uygulamaya zenginlik kazandırma hedeflenmiştir. FMEA uygulama ve standartlarının tek bir kaynaktan takibi açısından ihtiyaç duyulan ve başvurulmuş bir çalışma olması amaçlanmıştır.

Ayrıca otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın ihtiyaç duyulan bir prosesinde Proses FMEA çalışması yapılacaktır. Dış müşteri ve iç müşteri şikayetlerinin yoğun yaşandığı proses ele alınacaktır. Kaplama hazırlama prosesinde farklı kimyasal malzemelerin karıştırılması ile elde edilen karışım için riskler ortaya çıkmaktadır. Bu riskler kalite problemlerine ve üretim hurdalarına neden olmaktadır. FMEA metodolojisi kullanarak, ortaya çıkabilecek hatalar, kök nedenler, risk değerlendirmeleri tanımlanacaktır. Bu risklerin ortadan kaldırılması ile maliyetlerde azalma ve verimlilikler de artış sağlanması için çalışmanın işletmeye sunulması hedeflenmiştir. FMEA analizinden çıkan riskler sonrası ihtiyaç duyulan aksiyonların sonuçlandırılması sağlanarak, ortaya çıkacak proses şartlarının yeni ve teknolojik çalışmalara örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır.

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın genel amacı; bir çok sektörde risk analizi olarak kullanılan FMEA metodolojisinin otomotiv yan sanayi sektöründeki güncel uygulamaları, otomotiv yan sanayi sektöründe; müşterilere göre değişkenlik gösteren noktaların tespiti ile literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır. FMEA çalışmalarından beklentiler

zamanla değişmekte ve bu çalışmaların sürekli güncel tutulması gerekmektedir. Otomotiv sektöründe ana sanayi üreticilerin (OEM) yan sanayilerinden FMEA alışmaları için beklentileri bu çalışmada değerlendirilmiştir. Uygulama kısmında ise, Otomotiv yan sanayi sektöründe faaliyet gösteren XYZ firmasının Kaplama Hazırlama prosesinde FMEA metodolojisi uygulanarak prosesin tüm riskleri değerlendirilmiştir. Bu riskleri azaltmak için belirlenmiş aksiyonlar/faaliyetler uygulama firmasına sunularak firmanın sürekli iyileştirme sürecine katkı sağlaması amaçlanmıştır. Proseste ortaya çıkan risklere bağlı ürün hatalarının önüne geçerek müşteri memnuniyeti ve üretim verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir.

1.3. Araştırmanın nemi

Otomotiv sektörüne ait FMEA çalışmalarının güncel işleyişi hakkında bilgi sağlaması, ana sanayilerin FMEA uygulamalarına ait risk değerlendirme kriterlerinin bir arada bulundurulması çalışmanın önemi içerisinde yer almaktadır. Özellikle Risk ncelik puanındaki beklentilerin otomotiv reticilerinde neler olduğu araştırılmıştır. Ayrıca otomotiv yan sanayisinde seri olarak devam eden bir proseste FMEA analizi uygulayarak, bu analiz sonrası belirlenen düzeltici önleyici faaliyetlerin ele alınan işletmeye sunulması hedeflenmiştir. İşletmenin bu prosesinde daha önce herhangi bir FMEA alışması yapılmadığından çalışma hem işletmeye hemde literatüre uygulama zenginliği kazandıracaktır. Belirlenecek risklere karşılık alınacak inovatif ve teknolojik önlemlerle işletmenin proseslerindeki varyasyonları azaltılmasına çalışma katkı sağlayacaktır.

1.4 Araştırmanın Sınırlılıkları

FMEA analizinde ne çıkan Dizayn ve Proses FMEA tipleri bulunmaktadır. Dizayn FMEA henüz ürünün tasarım aşamasında ortaya çıkan bir çalışma olduğundan; çalışmanın yapılacağı işletme de yeni ve tasarım aşamasında bulunan bir ürün bulunmadığı için seri üretim olarak Proses FMEA tercih edilmiştir. Seri retim

koşullarında mevcut bir prosese ait risklerin belirlenmesi ve otomotiv sektöründeki uygulamaların ortaya konulabilmesi için Proses FMEA değerlendirilmiştir. Proses FMEA analizinde mevcut ve seri koşullarda devam eden bir proses riskleri ile birlikte ilk defa ele alınacaktır.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde giriş yapılarak problem tanımlanmıştır. Bu araştırmaya ait araştırmanın problemi, çalışmanın amacı, önemi, ve sınırlılıkları tanımlanmıştır.

İkinci bölümde FMEA metodolojisi açıklanmıştır. Bu bölüm içerisinde; metodun farklı kaynaklara dayanılarak tanımı yapılmış, tarihçesi ve gelişim aşamaları, FMEA türleri, amaçları ve sağladığı ortak yararlar üzerinde durulmuştur. Dizayn FMEA ve Proses FMEA analizlerine ait kavramlar ve tanımlamalar anlatılmıştır. FMEA çalışmasında kullanılacak kalite geliştirme araçları açıklanmıştır. Ayrıca analiz ekibinin profili belirtilmiştir. FMEA çalışmalarına ait temel kavramlar açıklanmıştır.

Üçüncü bölüm, FMEA türleri içerisinde Dizayn FMEA çalışmasına ayrılmıştır. DFMEA analiz girdileri belirtilmiştir. Dizayn FMEA çalışmasına ait kullanılan tanımlamalar detaylandırılarak değerlendirme tabloları ve çalışma formu üçüncü bölüm içerisinde belirtilmiştir. Otomotiv sektöründe kullanılan DFMEA risk öncelik puanlamaları ve çıktıları açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde Proses FMEA (PFMEA) detaylı olarak analiz edilmiştir. Proses FMEA' nın girdileri, uygulama formu, tanımlamalar, otomotiv sektöründeki risk öncelik puanları, değerlendirme tabloları ve çıktıları açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, ürünün tasarım aşamasından başlayıp ortadan kalkmasına kadar sürekli dinamik şekilde yaşayan Proses FMEA analizi uygulanmıştır. Otomotiv yansanayi sektöründen kaplama hazırlama prosesine yönelik problem ele alınarak ihtiyaç duyulan düzeltici önleyici faaliyetler tanımlanmıştır. Problem çözme teknikleri ile riskler analiz edilerek önceliklendirilmiştir. Bu uygulama sırasında IHS firmasının kantitatif risk analizi için özel olarak geliştirdiği FMEA-Pro8 yazılımı kullanılmıştır.

Altıncı bölümde sonuç kısmı tanımlanarak çalışmadan elde edilen bulgular belirtilmiştir. FMEA çalışmalarının gerekliliği, kazandırdıkları ve ilerde yapılabilecek çalışma önerileri sonuç bölümünde değerlendirilmiştir.

2. HATA TÜRÜ ETKİLERİ ANALİZİ (FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS –FMEA) METODOLOJİSİ

2.1.FMEA Tanımı

FMEA konusunda yayınlanmış ilk standart olan MIL-STD-1629A içerisinde FMEA; bir sistem içinde, her bir potansiyel hata türünü belirleyen ve bu hata türlerinin etkilerinin analiz edildiği prosedürlerdir (Department of Defense, 1980).

FMEA, oluşabilecek potansiyel hatalardan hareketle kök nedenleri bulup yok etmek için kullanılan bir tekniktir. Ürünün ya da hizmetin müşteriye ulaşmadan önceki kısmında uygulanır. Uygulanan sistemin potansiyel olabilecek tüm hatalarına ait analizler yapılarak operasyonel performansı geliştirir ve ortaya çıkan risk seviyesini düşürür (Scipioni vd., 2002).

Stamatis'e (2003) göre FMEA; Ürünün müşteriye ulaşmadan önce; tasarımdan, üretimden, sistemden ve/veya hizmetten kaynaklanan bilinen ve/veya olması muhtemel potansiyel hataların, risklerin, problemlerin, tanımlanması, belirlenmesi ve giderilmesini sağlayan bir mühendislik yaklaşımıdır.

FMEA, ürün veya hizmet geliştirme çalışmalarından doğabilecek potansiyel problemleri belirlemek için kullanılan analitik bir metodolojidir. Çapraz fonksiyonlu ekipler tarafından toplanan bilgilerin en açık dokümantasyonudur (Down vd., 2008).

AIAG tarafından yayınlanmış olan FMEA Referans manuel kitabı'nda yapılan tanımlamaya göre; "FMEA; bir ürün/prosesin gelişimi boyunca potansiyel hatalarını belirleyerek ve dikkate alarak ortaya çıkan riskleri azaltan sistematik çalışmalar bütünüdür" (AIAG, 2008: 2).

FMEA, hatalar görülmeden ve yaşanmadan önce riskleri minimize etmek ve ortadan kaldırmak amacıyla proses ve dizayn aşamalarında uygulanan risk yönetimidir (Narayanagounder ve Gurusami, 2009).

FMEA; hatalı ürünlere ait kök nedenlerin belirlenmesi ve yüksek Risk Öncelik Puanına (Risk Priority Number-RPN) sahip hatalarda baskın olan faktörlere ilişkin iyileştirmede önceliklerin yapılmasıdır (Mansur, 2016).

2.2. FMEA Tarihçesi

FMEA ilk olarak 1920 yıllarında gündeme gelmiştir. İlk defa ABD ordusunda geliştirilmiş ve 1949 yılında askeri bir standart olan MILSTD-1629A (Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi Uygulama Prosedürleri) ile uygulamaya başlanmıştır. Askeri alanda ekipman ve sistem hatalarına ait etkilerin belirlenmesi için kullanılmıştır. Sonrasında 1960'lı yıllarda NASA tarafından insanlı uzay projelerinde kullanılan FMEA'nın, ABD uzay sektöründe kullanılmasındaki asıl amaç; özellikle uzay araçlarının çok maliyetli ve tek bir ürün olmalarıdır. Bu yüzden hiçbir parçasında ve hiç bir sisteminde hatanın oluşması istenmemektedir (Narayanagounder ve Gurusami, 2009).

Otomotiv sektöründe 1977 yılında Ford Motor Company tarafından ilk defa uygulanan FMEA, daha sonra otomotiv sektörünün diğer 2 büyük devi; General Motors ve Chrysler tarafından da kullanılmaya başlanmıştır (Gilchrist, 1993).

İtalyan otomotiv firması FIAT, Fransız RENAULT ve PSA'nın (Pegueot Citroen Grubu) da 1985 yılında bu analizi kullanmaya başlaması ile FMEA, Avrupalı otomotiv üreticiler tarafından da üretim ve tasarım sistemlerinin güvenilirliğinin artırılmasında ihtiyaç duyulan metotlardan birisi haline hızla gelmiştir (Welborn ve Boraiko, 2009).

1993 yılında, otomotiv sektöründe ana sanayiler içerisinde üç büyükler olarak belirtilen; Ford Motor Company, Chrysler ve General Motors ortak bir çalışma yaparak ISO 9000 standartlar serisinin otomotivdeki karşılığı olan QS 9000 standardını yayınlamıştır. Amerikan Kalite Kontrol Derneği (American Society of Quality Control-ASQC) ve Otomotiv Endüstrisi Aksiyon Grubu (Automotive Industry Action Group-AIAG) ile birlikte çalışan Ford Motor Company, Chrysler ve General Motors firmalarındaki FMEA ekipleri, otomotiv sektörü için potansiyel hata türü ve etkileri analizi referans manuel kitabını oluşturmuştur. Bu kitapta

prosedürler, raporlama formatı örnekleri ve FMEA çalışmalarının nasıl yapılacağı belirlenmiştir (AIAG, 2008).

Otomotiv tedarikçilerinin üretim ve dizayn aşamalarında FMEA metodolojisinin uygulanması için; belirtilen referans manuel kitabının kullanılması üç büyük otomotiv üreticisi firma tarafından da onaylanmıştır. Bu standart çalışma öncesinde; Ford Motor Company, Chrysler ve General Motors firmalarının ayrı ayrı kullandıkları FMEA formatları bulunuyordu (Taş, 2010).

Tedarikçilerde formatların ve uygulamaların farklılık göstermesi karışıklığa neden oluyordu. AIAG referans manuel kitapçığının oluşturulması ile bu karışıklıklar ortadan kaldırılarak standart bir uygulama devreye alınmıştır. FMEA çalışmalarının standart olması hem tedarikçilerde hem de ana sanayide oluşan varyasyonları azaltarak risklerin minimize edilmesini sağlamıştır.

1999 yılında, ISO 9001:2000 üzerine kurulu olan ve otomotiv sektörüne yönelik hazırlanan ISO/TS 16949 Kalite Yönetim Standartları ile QS 9000 devreden kaldırılmıştır. ABD otomotiv üreticilerine ilave olarak Avrupalı üreticilerin de yan sanayi tedarikçi firmalardan istek ve beklentileri tek bir standart altında toplanmıştır. Bu standardın 2016 yılında yayınlanan son revizyonundaki IATF (International Automotive Task Force- Uluslararası Otomotiv İş Gücü) 16949: 2016 Kalite Yönetim Sistem standardı 8.3.5.1 maddesi Tasarım ve Geliştirme, 8.3.5.2 maddesi Üretim Proses Tasarım çıktılarında FMEA bir gereklilik olarak tanımlanmıştır (IATF 16949, 2016).

Büyük ölçekli global firmalar 40 yılı aşkın bir süredir FMEA'yi sürekli olarak geliştirmekte ve ilerletmektedirler. Amerikan Otomotiv Mühendisleri Derneği (Society of Automotive Engineers) SAE J1739 standardı (Rev: Ocak 2009) ile ve AIAG (Rev: Haziran 2008) yayınları ile FMEA metodolojisi son halini almıştır. Ayrıca son olarak 2011 yılında 4.2 versiyonu ile Ford FMEA Handbook yayınlanmıştır . Bu standartlarda FMEA hakkında bilinmesi gereken temel kavramlar açıklanmıştır (Ford Motor Company, 2011).

Günümüzde FMEA sadece nükleer enerji, havacılık, elektronik sektörleri ve otomotiv gibi ileri teknoloji alanlarında değil, üretim sektörü, yazılım/donanım sektörü ile beraber sağlık, turizm gibi birçok hizmet sektöründe de yaygın olarak

kullanılmaktadır. FMEA son dönemlerde kullanımı gittikçe yaygınlaşan bir tekniktir. Otomotiv sektörü başta olmak üzere gıda (Scipioni vd., 2002), metal (Meidert ve Hansel, 2000), yazılım (Zalewski vd., 2003), deniz taşıtları imalatı (Pillay ve Wang, 2003), nükleer tasarımlar gibi çok çeşitli alanlarda hataların önlenmesine yönelik olarak kullanılmaya başlanılmıştır (Kuvvetli, 2008).

Sheng ve Shin (1996) otomotiv sektörü yan sanayi firması hava yastığı şişirme ünitesinde Proses ve Dizayn FMEA uygulayarak sürecin kontrol altına alınma ve güvenilirlik gereksinimlerini ortaya koymuştur. Ayrıca kontrol planı, görsel yardımcılar ve doğrulama listelerini literatüre kazandırmıştır. Müşterilerden gelen şikayetlere bağlı ortaya çıkan PPM (Parts per Million-Milyonda bir) hata oranı ile FMEA ilişkisini sağlayarak dizayn FMEA da bu PPM lerin kullanılabilceğini tanımlamıştır (Ambekar vd., 2013).

Eubanks ve arkadaşları (1997) dizayn aşamasını daha etkili kılmak için ürün davranış modelinde farklı bir yaklaşım uygulamışlardır. Algoritmik Hata Türü Etkileri Analizi (AFMEA); geleneksel FMEA yönteminden kaçan hataları yakalamaya yarayan, sebep sonuç ilişkisini tanımlayan hata modlarını daha geniş yakalayan bir sistemdir. Elektrik üretim sistemlerinde FMEA uygulayarak analizin algoritmasını çıkartıp otomotiv harici bir sektöre uygulamıştır.

Price ve arkadaşları (1997) otomotiv elektrik sistemleri üzerine FMEA çalışmaları yaparak FMEA uygulamasına yer vermiş ve FMEA'nın avantajlarını ortaya çıkarmıştır. Otomotiv elektrik sistemleri üretiminde kaynaklanabilecek hatalar tanımlanarak risk değerlendirmeleri yapılmıştır.

Cornes ve Stockton (1998) yaptıkları çalışmalarda FMEA'nin bir çok sektörde uygulanabilir olduğunu ve dizaynın başlangıcında mutlaka tanımlanması gerektiğini vurgulamışlardır. FMEA'nın zamanlamasının önemini vurgulayarak dizayn aşamasının bir gerekliliği olduğunu ortaya koymuşlardır.

Kmenta ve Ishii (2000) Mevcut Risk Öncelik Puanı (Risk Priority Number – RPN) hesaplamaları yanı sıra olasılık ve maliyet ilişkisine dikkate çekerek hataların gerçekleşme olasılıklarının getireceği maliyetleri analiz etmiştir. Hataların görülmesinin maliyet analizini yapıp FMEA çalışması ile kazanılan maliyeti belirlemiştir.

Franceschini ve Galetto (2001) geleneksel FMEA metodunda RPN hesaplamalarındaki nitel analizin eksikliklerine dikkat çekerek yeni RPN hesaplamasının avantajlarını ortaya çıkarmıştır. Geleneksel FMEA metodundaki subjektifliğin ve tek başına RPN'nin kritik olmadığını vurgulamışlardır.

Scipioni ve arkadaşları (2002) FMEA metodunu gıda sektöründe uygulayarak HACCP (Kritik Kontrol Noktalarında Tehlike Analizi) ile etkileşimlerini ortaya çıkarmıştır. Otomotiv ve nükleer harici bir sektörde FMEA uygulayarak FMEA'nın diğer sektörlerde de çok rahat uygulanabileceği konusunda liderlik yapmışlardır.

Rhee ve Ishii (2003) FMEA'ya bağlı olarak ürünün maliyet odaklı yaşam döngüsünü tanımlamıştır. Bu çalışmaların amacı sadece dizayn süreci değil aynı zamanda bileşenlerin bakım faaliyetlerini de içerecek şekilde FMEA çalışmaları yapmaktır.

Zhou ve Stalhane (2004) kalkınma sürecinde sistem kalitesini artırmak için FMEA'nın önemini belirterek web tabanlı sistem analizlerinde FMEA çalışmalarını kullanmıştır.

Pantazopoulos ve Tsinopoulos (2005) Dizayn ve proses FMEA'yı metal şekillendirme sektöründe uygulamışlardır. Otomotiv ve uzay sektöründeki karmaşık elektrik-elektronik parçaların güvenilirliği yanı sıra farklı sektörlerde de yaygın kullanılabilir potansiyel bir araç olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışmanın amacı sistemin zayıf noktalarının tespiti ve hataların görülme sıklığını minimize edecek çalışmaların belirlenmesidir.

Wyatt (2005) inşaat sektöründe dayanaklılık bağlamında çalışma ve hizmet ömrünü FMEA çalışmaları ile ele almıştır. İnşaat sektöründeki riskleri belirleyerek literatüre katkı sağlamıştır.

Yeh ve Hsieh (2007) bulanık teori yaklaşımına yönelik bir FMEA önererek RPN değerlendirmesindeki subjektifliğin bulanık teori yaklaşımı ile ortadan kaldırılabilirliğini belirttiler.

Santos ve Cabral (2008) FMEA ile Proje yönetimini birleştirerek proje yönetiminde karşılabilecek riskleri analiz etmiştir. Şirketlerin hem mali hem de insan

kaynakları sürecine katkı sağlayacak ve proje yönetimi ile de % 71 örtüşen proje risk yönetimine uygun yaklaşımlar geliştirmişlerdir.

Segismundo ve Miguel (2008) FMEA çalışmasını otomotiv sektöründe uygulayarak yeni ürün geliştirme sürecinde karar verme optimizasyonu için FMEA'nın teknik risk yönetim metodu olarak kullanılabilir bir standart olduğunu tanımlamıştır. Çalışma sonucunda gerekli olan prototip sayısı azaltılarak proje ve test planlarında azalma sağlanmıştır.

Narayanagounder ve Gurusami (2009) FMEA'nın eksikliklerini gidermek amacıyla aynı RPN puanına ait hata türlerinde RPC (Risk Priority Code) kullanılmasını önerdi. Ayrıca RPN değerlerinin ortalamalarına yönelik varyans analizini (ANOVA) kullanmışlardır.

Ebrahimipour ve arkadaşları (2009) yılında web teknolojisi ile FMEA çalışmasını birleştirerek web uygulamalarında FMEA metodolojisini uygulamıştır. Zhou ve Stalhane 2004'den sonra yazılım sektöründe de FMEA'nın bir gereklilik olduğunu faydaları ile ortaya çıkarmışlardır.

Zhao (2011) SPC (Statistical Process Control- İstatistiksel Proses Kontrol) ile FMEA metodolojisini birleştirerek operatörlerin prosesi kontrol altında tutmak amacıyla yaptıkları istatistiksel kontrollerde FMEA'nın önemini belirtti.

Chen (2013) Bakım faaliyetlerinde FMEA analizi uygulayarak otonom bakım risklerini ortaya çıkarmıştır. Otonom bakım faaliyetlerinde ekipman ve operatör hata türlerini belirlemiştir.

Shafiee ve Dinmohammadi (2014) yılında rüzgar türbin sistemlerinde FMEA metodolojisini kullanmıştır. FMEA riskleri ile maliyet risklerini analiz etmiştir. FMEA risklerinin belirlenerek öncesinde potansiyel hataların çözülmesi ile maliyet kazancı sağlanacağını açıklamıştır.

Shishebori (2015) yılında FMEA, DOE (Design of Experiment), Six-Sigma metodlarını birlikte kullanarak bir üretim tesisindeki üretim firesini düşürmek için çalışmalarda bulunmuştur. Fire düşürme metodlarından biri olarak FMEA'nın önemini literatüre katkı olarak sağlamıştır

Vahdani ve arkadaşları (2015) risk değerlendirme sürecini iyileştirmek için TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerlik bakımından Sıralama Performansı Tekniği) yöntemini kullanarak RPN hesaplamalarını belirlemiştir. RPN hesaplamalarını klasik hesaplama metodundan çıkararak farklı bir boyut kazandırmıştır.

Vykydal ve arkadaşları, (2015) FMEA çalışmasının ekonomik etkilerini metal çekme tel üretiminde değerlendirmiş ve stratejik karar vermede FMEA çalışmasının önemini vurgulamıştır.

2.3. FMEA Türleri

FMEA türleri yaygın kullanım olarak 2 kısma ayrılmaktadır.

- Dizayn FMEA (DFMEA)
- Proses FMEA (PFMEA) şeklindedir.

Fakat son yıllarda ortaya çıkan ve global büyük ölçekli bir çok işletmede de yeni yeni uygulanmaya başlanan

- Makine/Ekipman FMEA (MFMEA) bulunmaktadır (Degu ve Moorthy, 2014).

FMEA türleri genel olarak aşağıda açıklanacaktır.

2.3.1. Dizayn FMEA

Ürünün tasarımından kaynaklanan hata türlerine odaklanarak, üretime başlamadan önce tasarlanacak üründe oluşabilecek potansiyel hatalar ortaya çıkarılır. Bu hataların kök nedenleri analiz edilerek, tasarımın en uygun şekilde olması sağlanır. Tasarım başlangıcından tasarımın dondurulmasına kadar olan süreci kapsar (Chin vd., 2008).

Tasarımın dondurulması, serbest kalması; müşteri ile tasarım üzerinde anlaşma sağlanıp artık gerekli olan diğer süreçlere geçileceği anlamına gelir. Bu aşamadan

sonra işletme üreteceği ürünün teknik resimlerini, prototip ürünlerini vb. gibi fazları yerine getirir. DFMEA tasarım mühendisliği vb. ekiplerin liderliğinde yürütülür. Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi'ne girdi sağlar. Henüz tasarım aşamasında iken ürüne ait tüm risklerinin belirlenip analiz edilerek çözüm sağlanması, projenin ilerleyen fazlarda ve seri koşullarda daha az hata ile üretilebileceği anlamına gelir. Bu yüzden DFMEA ürün açısından en kritik ve en önemli safhadır (Chao ve Ishii., 2007).

DFMEA; alternatif dizaynları içerecek şekilde dizaynın tarafsız değerlendirilmesine yardımcı olur. Sistem üzerinde hata türleri ve etkilerine bağlı olasılıkları artırarak bu durumun ürün tasarımı ve geliştirilmesinde dikkate alınmasını sağlar. Müşterideki etkisine bağlı olarak hata türlerinin listelenmesini, ortaya çıkan riskleri düşürmek için aksiyon ve takip formatı sağlar. Tasarım değişikliklerini kaydederek, daha sonra elde edilecek yeni projeler için edinilmiş tecrübeleri oluşturur (Ford Motor Company, 2011).

2.3.2. Proses FMEA

Ürün tasarımından sonra proses tasarımı sağlanır. Ürünün üretilebilmesi için gerekli olan proses aşamalarına odaklanır. Proses henüz oluşturulmamış iken benzer proseslerden ve edinilmiş tecrübelerden hareketle procese ait tüm riskler değerlendirilir. Belirlenmiş olan proses detaylı olarak inceler. Çalışmalar üretim mühendisliği liderliğinde yürütülür (AIAG, 2008).

Proses tasarımı yapılırken, proses akış şemaları oluşturularak prosesin hangi aşamalarda tamamlanacağı belirlenir. Bu aşamalardan sonra ilgili adımlarda ortaya çıkabilecek potansiyel riskler FMEA metodolojisi ile analiz edilir. Hatalar, daha önceki proseslerden edinilmiş tecrübeler yardımıyla ve beyin fırtınası vasıtasıyla ortaya çıkarılır. PFMEA ekibi procese ait önlemleri ve aksiyonları belirleyerek, ürünün üretilmesi esnasında minimum hata ile üretilmesini sağlar.

PFMEA; prosesin yerine getirmesi gereken fonksiyon ve ihtiyaç duyulan gereksinimlerini tanımlar. Müşterideki potansiyel hata türleri ve etkilerini değerlendirir. Üretim ve montaja ait kök nedenleri tanımlar, hatanın oluşmasından önce bulunan veya oluşuktan sonra ilgili proses adımında yakalanmasını sağlayan

kontrollere odaklanır. Ortaya çıkan risklere ait önleyici ve düzeltici faaliyetler oluşturur ve risk seviyelerine göre önceliklendirir. Kritik ve önemli özel karakteristikleri tanımlar. Üretim de kalitenin sağlanması için kontrol planları sağlar (Stamatis, 1995).

Proses FMEA uygulanarak öncelikle prostesten kaynaklanacak değişkenlikler azaltılarak oluşabilecek kalite ve üretim maliyetleri minimize edilir. Özel olarak kontrol edilmesi gereken proses adımları veya hata türleri belirtilerek mühendislik çalışmaları ile (SPC, DOE; Design of Experiment- Deney Tasarımı vb.) kontrol altında tutulur. Proseste hata oluşmadan önce önleyici bir yaklaşım uygulayarak hata kaynağında ortadan kaldırılır. İş güvenliği riski taşıyan faaliyet alanları belirlenerek işletmeye iş güvenliği alanında önceliklendirme sağlar. Proses FMEA'nın kontroller adımı tanımlanmış veya aksiyon olarak belirtilmiş kontroller Kontrol Planına girdi sağlar.

2.3.3. Makine/Ekipman FMEA

Üretim de veya montaj da kullanılacak makine/ekipmanlara ait hata türleri ve riskleri içerir. Proseste kullanılacak makine ve ekipmanların kullanımı esnasında çıkarabileceği potansiyel hatalara odaklanarak, bu hataların makine/ekipman tasarımının henüz başında iken analiz edilmesini sağlar (Dequ ve Moorthy, 2014).

Makine/Ekipman FMEA henüz çok yaygın olarak kullanılan bir teknik değildir. Fakat son yıllarda özellikle büyük ölçekli işletmeler MFMEA çalışmalarına önem vermektedir. Çünkü ürünün hatasız üretilmesi için hatasız çalışan makine ve ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Dizayn süreci içerisinde makine ve ekipman riskleri de değerlendirilip, MFMEA ile prosesin daha kararlı olması sağlanacaktır.

MFMEA yararları arasında (MFMEA, 2012) ;

- Makine ve ekipmanlardaki standardı sağlar,
- İş güvenliğini iyileştirir,
- Makine kaynaklı arıza sürelerini azaltır,
- Makine/Ekipman kaynaklı oluşabilecek üretim kayıplarını önler,

- Duruş ve arıza maliyetlerini minimize eder,
- Toplam maliyetleri azaltır.

2.4. FMEA 'nın Amaçları

FMEA'nın amaçları; müşteri beklentilerine ve yasalara uygun şekilde ürün ve proses tasarımı yapmaktır. Aynı zamanda ürün ve proses güvenilirliği ve fonksiyonel güvenliğin artırılmasını sağlamaktır. Fonksiyonel güvenlik ürünün yerine getirmesi gereken fonksiyonu eksiksiz ve hatasız yerine getirmesidir. FMEA müşteri karşısında kalite, garanti ve iade maliyetlerini düşürür. En kısa sürede ürün ve proses geliştirerek, üretimin hatasız başlaması, plan ve programa uyum, karlı üretim, işletme içinde edinilmiş tecrübelerin oluşturulması, işletme rekabet yeteneklerinin artırılması en temel amaçları içerisinde yer alır (Ravi ve Prabhu, 2001).

Hatanın kaynağında oluşmadan önlenmesini, oluşmuş hatanın ise bir sonraki proses veya müşteriye kaçmadan yakalanmasını sağlamak hedeflenmektedir. Bir hatanın müşteriye olan etkisini azaltmaya çalışmak ürün tasarımı ile mümkün olmaktadır. Aksi halde etki hiç bir şekilde değişmemektedir. Etki değiştirilemiyorsa da görülme sıklığı veya yakalanmasına yönelik tedbirler alınmalıdır (Arvilla, 2014).

2.5. FMEA'nın Uygulandığı Durumlar

FMEA çalışmasına ihtiyaç olan durumlar ve gereklilikler firma tarafından takip edilmelidir. FMEA'nın yapılma zamanı en az analizin kendisi kadar kritik ve önemlidir. Doğru zamanda yapılan bir FMEA çalışması işletmeye ciddi kazançlar sağlayacaktır. Bir ürün henüz tasarım aşamasında iken FMEA çalışmaları başlamalıdır. Öncelikli olarak dizayn FMEA başlatılmalı fakat eş zamanlı olarak Proses FMEA'da yaşatılmalıdır. Sürekli güncel tutulması gerektiğinden FMEA dökümanları yaşayan döküman olarak görülmektedir.

Yeni bir ürün, proses, makine ve ekipman kullanıldığında, ürün veya proses değişikliklerinde, müşteri hata bildirimleri sonrasında, yasal yükümlülüklerde değişiklik olduğunda, garanti ve saha iadelerinde, kalite maliyetleri oluştuğunda ve arttığında FMEA çalışmaları yapılarak güncel tutulmalıdır (VDA-4, 2012).

2.6. FMEA Ekibi

FMEA çalışmalarına başlamak için öncelikli olarak ekip oluşturulmalıdır. FMEA çapraz fonksiyonlu veya çok fonksiyonlu ekipler olarak , firma içindeki farklı disiplinlerden gelen katılımcılar ile yürütülen bir ekip çalışmasıdır. Çalışmanın temelinde farklı bakış açısı ve edinilmiş tecrübelerin gündeme getirilerek kullanılması yatar. Ekip liderleri ve üyeleri, analizin türüne göre farklılık gösterir. Bu ekip içerisinde teknik bilgiye sahip kişiler ve FMEA metodolojisini bilen kişiler olması önerilir (Belu vd., 2012).

Ekibi oluşturacak olan personelin; ilgili süreç içerisinde sorumlulukları olan, problem çözme becerisi bulunan, yorum yapma yeteneğine sahip ve ekip çalışmasına yatkın kişiler arasından seçilmesine dikkat edilmelidir. Ekip üyelerinin FMEA yanısıra; veri analizi, deney tasarımı, problem çözme teknikleri, hata önleme ve istatistiksel proses kontrol gibi konularda eğitilmiş olmaları analiz sonuçlarının kalitesini yükseltecektir. Ekip üyelerinin aynı tecrübe seviyesine sahip olması FMEA çalışmalarında çok tercih edilmez. Tecrübeli katılımcıların yanı sıra; önyargısız, yeni ve objektif görüşlerin ortaya çıkarılabilmesi açısından; fazla tecrübesi olmayan üyelerin de ekip içerisinde bulunmaları sağlanmalıdır (Ford Motor Company, 2011).

FMEA ekipleri içerisinde farklı bölümlerden katılımcıların olması nedeni ile potansiyel problemler aynı anda görüşülerek değerlendirilmiş olur. Böylelikle karar mekanizması daha hızlı işleyebilir, kararlar geniş katılımlı bir ortamda alınabilir ve bölümler arasındaki işbirliği artırılabilir.

FMEA ekibi; çekirdek ekip ve destek ekip olarak iki gruba ayrılır. Çekirdek ekip, FMEA'nin tüm aşamalarına doğrudan katılırken, destek ekibi ihtiyaç halinde

görüş bildirmek için analiz sürecine dahil edilir. Ekipteki personel sayısının az olması farklı fikirlerin çıkmasının önüne geçebileceği gibi, kalabalık olması da çalışmayı yavaşlatacaktır. Bu nedenle çekirdek ekip kadrosu genellikle 5–7 kişi ile sınırlı tutulabilir. Çalışma ile doğrudan ilişkisi olan bölümlerin üyeleri ekip içerisinde mutlaka temsil edilmelidir (Ford Motor Company, 2011).

FMEA ekipleri çalışmalar tamamlanana kadar düzenli olarak toplantılar yapar. Bu toplantıların frekansı, çalışmanın amaçlarına ve tamamlanması için gereken hedef tarihe göre belirlenerek bir proje planı dahilinde olmalıdır. FMEA toplantılarının etkinliği için; toplantılar çok uzun tutulmamalıdır. Maksimum 2 saat olarak değerlendirilebilir.

Ekip içerisinde toplantıları yönetecek bir moderatör bulunur. Moderatörün görevi FMEA toplantılarını yönetmektir. Bu nedenle özellikle; toplantıların planlanması, gündeminin belirlenmesi ve yönetimi ve ekibin amaçtan uzaklaşmamasından moderatör sorumludur. Moderatör; toplantı öncesi ilgili kişi ve sorumlulardan gerekli hazırlıkları yapmalarını talep eder. Tarafsız olmalı, ekip üzerinde baskı kurmamalı ve kararlarda son sözü söyleyen kişi durumunda olmamalıdır. Çünkü moderatörün rolü; karar verici olmaktan çok, işleyişi kolaylaştırmak yönündedir. FMEA analizinde puanlamanın yapılması ve belli bir sistematığe uygun şekilde risklerin önceliklendirilmesi moderatör sorumluluğundadır (Mc Dermott vd., 1996).

Moderatörün yanı sıra ekipte FMEA için gerekli kaynakların sağlanması ve çalışma içerisinde çıkabilecek aksiyonların takipçisi olarak bir ekip lideri belirlenir. Ekip lideri, üst yönetim tarafından belirlenebileceği gibi analizin türüne göre ekip üyeleri tarafından ilgili bölümün temsilcileri arasından da seçilebilir. Liderin asıl görevi FMEA aksiyonları arasındaki takip ve koordinasyonu sağlamaktır (Stamatis, 2003).

Dizayn FMEA ekibi içerisinde ekip lideri; ürün tasarım bölümünden veya proje yöneticisinden tercih edilmesi önemlidir. Üyelerin; tasarım, üretim/montaj, kalite, metod, laboratuvar, ar-ge ve satınalma bölümlerinden olması önerilir. Ürün tasarımında doğrudan etkili ve sorumlu kişilerin yanı sıra bazı durumlarda müşteri de dizayn FMEA çalışmalarına eşlik etmek isteyebilir. Müşterinin de bu çalışmalara dahil

edilmesi ilerde karşılaşılabilecek problemleri öncesinden çözmeyi sağlayacaktır (Ashley vd., 2010).

Proses FMEA ekibi içerisinde ise; ekip lideri; üretim/proses bölümünden, üyelerin; kalite, metod, tasarım, bakım-onarım, laboratuvar, vb. bölümlerinden olması önerilir. Yeni bir proses ise daha önce benzer proseslerde çalışmış kişiler sürece katkı sağlayacaktır. Mevcut bir proses ise o prosesi çok iyi tanıyan, kullanılan makinelerdeki aşamaları yöneten kişilerin tercih edilmesi sağlanmalıdır

Makine/Ekipman FMEA ekibinin lideri metod/mühendislik bölümüdür. Bu ekip içerisinde üretim/montaj, bakım-onarım, kalite ve satınalma bölümlerinden katılımcılar yer alır.

2.7. FMEA Kapsamının Belirlenmesi

FMEA çalışmasına başlamadan önce ekip mutlaka çalışmanın kapsamını belirleyerek ihtiyaç duyulan bilgileri toplamalıdır. Etkili ve etkin bir FMEA çalışması için öncelikli olarak kapsam belirlenmelidir. Kapsam olarak FMEA çalışmasının başlangıç ve bitiş noktaları çok net bir şekilde tanımlanmalıdır (AIAG 2008: 8).

FMEA'nın türüne göre kapsam belirlenir. Kapsama neler gireceği nelerin kapsamdan çıkarılacağı FMEA başlangıcında belirtilmelidir. Kapsamı belirlerken; fonksiyon modelleri, blok diyagramları, parametre diyagramları, ara yüz diyagramlar, proses akış şemaları, etkileşimler matrisi, ürün ağaçları, malzeme listesi, proje planı, müşteri talimatları, yasal yükümlülükler, iç talimatlar, kalite hedefleri, teknik resimler, parça listeleri, edinilmiş tecrübeler hazır bulundurulur (Stamatis, 2003).

FMEA çalışmasında kullanılacak format müşteri gereksinimlerine ve organizasyon yapısına göre değişkenlik gösterebilir. Temel olarak; fonksiyonlar, gereksinimler, hata modları, hataların etkileri ve sonuçları, hatanın kök nedenleri hata modlarına ait mevcut kontroller, hata modlarını önlemek için gereken aksiyonlar, sorumlular ve terminleri kapsmalıdır (VDA-4, 2012).

2.8. FMEA İle İlgili Kavramlar

2.8.1. Müşteri

FMEA çalışmalarında müşteri ürün veya hizmetin ulaştığı son kişi, montaj hattı veya bir sonraki proses olabilir. Bir işletmeden çıkan ürünün piyasada ulaştığı nokta dış müşteridir. O ürünün işletmeye bağlı prosesler arasında dolaştığı aşamada, her bölüm bir önceki bölümün iç müşterisi olacaktır. FMEA çalışması içinde müşteri, oluşabilecek potansiyel herhangi bir hatadan etkilenen kişi ya da bölümler olarak değerlendirilir

FMEA analizlerinde bir hata türü belirlendikten sonra şiddetini puanlamak için müşterilere etkiler ayrı ayrı tanımlanmalıdır. Bu yüzden üretilen ürün veya hizmetin ulaştığı müşteri çok net bir şekilde bilinmelidir. DFMEA, PFMEA, MFMEA çalışmaları içinde müşteriler 4 kademedede açıklanır (Shain., 2003).

- Son Kullanıcı: Üretilen ürünün nihai kullanıcısı tanımlanmalıdır. Son kullanıcıya etki belirtilmelidir.
- Montaj ve Üretim Merkezi: Ürünün üretildiği kısmı tanımlar. OEM montaj hattı veya üretim merkezine etki ayrı ayrı değerlendirilmelidir.
- Tedarik Zinciri: Prosesin bir sonraki prosesleri müşteri olarak değerlendirilip FMEA çalışmasında yer verilmelidir
- Yasalara Etki: İş güvenliği ve çevreye olan etkiler söz konusu ise yasalara uyum çerçevesinde değerlendirilmelidir.

2.8.2. Fonksiyonlar, Gereksinimler, Adımlar

Fonksiyon bir ürün veya prosesten gerçekleştirilmesi beklenen amaçlardır. Bir ürün ya da hizmetin karşılaması istenilen özellikleridir. Oluşabilecek bir hata, ürünün ya da hizmetin bazı özelliklerinin çalışmasını engelleyebileceği gibi tüm özelliklerinin çalışmamasına da sebep olabilir. Ürünün veya prosesin fonksiyonu net bir şekilde tanımlandığında hata türlerinin ortaya çıkarılması da netleşecektir.

Fonksiyonu tanımlarken sayısal veriler ve spesifikasyonlar bu hücre de belirtilmelidir. Gereksinimler kısmı ise ürün veya hizmetin bu fonksiyonu yerine getirebilmesi için ihtiyaç duyulan makine, ekipman, malzeme vb lerin listesini tanımlar. Adımlar da ise sürecin akışına ait basamaklar ifade edilir (SAE, 2008).

2.8.3. Potansiyel Hata Türleri

Ürünün kullanımı ve üretilmesi esnasında çıkabilecek bütün hatalar önceden tanımlanmalıdır. Hataların gerçekleşmiş olması beklenmez. Gerçekleşmeden de hatalar dikkate alınabilir. Ürünün yerine getirmesi gereken fonksiyondan hareketle bu fonksiyonun yerine gelmemesini sağlayan hata türleri bu aşamada belirtilir (Abdelgawad ve Fayek, 2010).

Örnek olarak; Fren sisteminin çalışmaması, aracın su alması, kapıların açılmaması, kapanmaması vb verilebilir. Dizayn veya procesten kaynaklı tüm hatalar bu aşamada tanımlanarak riskler yönetilmeye çalışılır. Hata türleri başlangıçta tanımlandıktan sonra da yeni hatalar ilave olabilir. Müşteri şikayetleri, garanti iadeleri, proses iç redler vb gibi geri dönüşlere göre hata türleri şekillenebilir.

2.8.4. Potansiyel Etki

Müşterinin yaşayabileceği hoşnutsuzluk ve tehlike oluşturabilecek durumlardır. Hata önlenemediğinde veya yakalanamadığında, hatanın müşteriye ulaşması ile ortaya çıkan etki ve sonuçtur. Müşterinin neyi fark edebileceği veya müşterinin bu hata ile ne yaşayacağını tanımlanmasıdır. Yeni bir ürüne ait ve hiç tecrübe edilmemiş bir hata ise etki belirlenirken, benzer özellik taşıyan ürünlerin sonuçları dikkate alınmalıdır (Erginel, 1999:17).

Müşteri tanımında belirtilen kademeler kullanılarak etkiler ortaya çıkarılmalıdır. Etkinin değerlendirmesini yaparken fonksiyonellik veya görsellik gibi ürüne ait özellikler dikkate alınabilir. Gerçekleşmesi muhtemel hatalar üzerinde çalışarak, hataların üretim, hizmet veya diğer parçalar üzerindeki performansa olumsuz etkileri tanımlanmalıdır. İç veya dış müşteriye etki tanımlanması FMEA çalışmalarında şiddet

puanlamasını etkileyecek ve belirleyecektir. Şiddet değerlendirmesi burada belirtilen etkilerden hareketle puanlanır.

2.8.5. Potansiyel Kök Nedenler

Hatanın olabilecek potansiyel tüm kök nedenleri ortaya çıkarılır. Hata ile kök neden arasında direkt ilişki bulunmaktadır. Bir kök nedenin ortaya çıkmış olması o hata türünün de görülmesi anlamına gelir. Bir hatanın oluşmasına neden olan faktörler problem çözme tekniği ile belirlenir. Problem çözme tekniğinde kullanılan makine, malzeme, insan, çevre, metod faktörleri dikkate alınarak problemin potansiyel kök nedenleri tanımlanır (Baysal vd., 2002).

Probleme ait kök nedenler ne kadar iyi tanımlanırsa FMEA çalışması o kadar etkin olur. Çünkü FMEA'nın bir amacı da hatalara ait tecrübelerin tek bir dökümanda birleştirilmesidir. Tüm kök nedenler belirlendiğinde işletme için faydalı bir know-how (sahip olunan teknoloji, bilgi veya tecrübe vb.) olmaktadır.

2.8.6. Kontroller

Hatalara ait kök nedenlerin oluşmasını önleyecek kontroller ve oluştuktan sonra yakalayan kontroller olmak üzere ikiye ayrılır. FMEA çalışmalarında öncelik önleyici kontrollerin olmasıdır. Eğer hata veya kök nedeni önlenemiyorsa yakalanarak bir sonraki prosese geçmesine izin verilmemelidir (Stamatis, 2003).

Kontroller ürünün dizaynında ve proseste ulaşılabilir olmalıdır. FMEA çalışmalarında kontrollere ihtiyaç duyulmadan hata bulunduğu proses veya aşamada hata önleme teknikleri ile önlenmelidir. Çünkü ortaya çıkan bir hatanın sonradan kontrol edilmesi, bir sonraki prosese kaçma ihtimalini gösterir.

2.8.7. Risk Değerlendirme

FMEA'nın önemli bir aşaması risk değerlendirmesidir. Risk değerlendirmesi için şiddet, olasılık, yakalama puanları ayrı ayrı hesaplanır. Bu hesaplama da değerlendirme tabloları kullanılır. Değerlendirme tabloları sektörel bazda değişiklik gösterir. Çalışma kapsamında otomotiv sektörüne yönelik değerlendirme tabloları kullanılmıştır. Hatanın etkisi, hata kök nedeninin görülme sıklığı ve kök nedeni yakalayan kontroller belirlenerek çarpılır. Bu çarpımdan RPN değeri elde edilir. RPN değerine göre riskler önceliklendirilir (Chao ve Ishii., 2007).

FMEA analizinde risk değerlendirmesi için kullanılan kavramlar aşağıdaki belirtilmiştir (AIAG, 2008).

Şiddet (Severity): Hatanın müşteri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesidir. Şiddet sadece tasarımda değişiklik ile azaltılabilir.

Görülme sıklığı_Olasılık (Occurrence) : Hatanın kök nedeninin hangi sıklıkla ortaya çıktığının puanlamasıdır.

Yakalama (Detection): Kök neden veya hata modunu yakalayan önleyici, yakalayıcı kontrolleri içerir.

RPN (Risk Öncelik Puanı- Risk priority number) : Risk değerlendirmesini belirtir ve Şiddet x Olasılık x Yakalama çarpımları ile elde edilir.

Tavsiye edilen aksiyonlar : Riskleri düşürmek için aksiyonlar belirlenmelidir. Bu aksiyonlar şiddeti, görülme sıklığını ve yakalamayı düşürecek şekilde olmalıdır. Aksiyonların termini ve sorumlusu mutlaka tanımlanmalıdır. Ayrıca aksiyon sonrası tekrar bir risk değerlendirmesi yapılarak puanlamalar güncellenerek gözden geçirilmelidir.

2.8.8. FMEA' da Kullanılan Kalite Geliştirme Araçları

FMEA metodolojisini uygulama esnasında bazı kalite geliştirme araçları kullanılabilir. Hataların kök nedenlerini belirlerken Balık Kılıcı, riskleri önceliklendirme esnasında Pareto diyagramı kullanılması sürece katkı sağlayacaktır (Baysal vd., 2002).

FMEA çalışmasına destek olarak kullanılacak olan bu kalite geliştirme araçları belirtilenlerle sınırlı değildir. Bu çalışma kapsamında kullanılacak Balık kılıcı ve Pareto analizlerine yer verilmiştir.

2.8.8.1. Balık Kılıcı

Balık kılıcı diyagramı Ishikawa diyagramı olarakta bilinmektedir. Bir problemin ortaya çıkma nedenleri ile ilgilidir. Problemin şekilsel gösterimi sebep-sonuç diyagramı olarakta adlandırılmaktadır. İlgilenilen olayın sebeplerinin araştırılmasına sistematik bir yaklaşım getiren bu diyagramlar oluşturulurken; her sonuca ilişkin makine, metod, malzeme, insan ve çevre ana başlıklarında toplanan faktörler vasıtasıyla her bir kök neden de bir dizi alt nedene ayrıştırılabilmektedir. Bu nedenlerin ortaya çıkarılmasında beyin fırtınası tekniği kullanılabilir (Burnak, 1997, s. 46).

FMEA metodolojisinde balık kılıcı, hata türlerinin kök nedenlerini ortaya çıkarabilmek için kullanılmaktadır. Her hata türünün hangi kök nedenlerden kaynaklandığı FMEA ekibi tarafından balık kılıcı faktörleri dikkate alınarak belirlenir. Malzeme, Makine, İnsan, Metod, Çevre faktörleri düşünülerek kök nedenler hangi kategoriye giriyorsa gruplandırma yapılır.

2.8.8.2. Pareto Diyagramı

Bir problemi oluşturan kök nedenlerin önem derecelerine göre sıralanmasıyla elde edilen histogram türüne pareto diyagramı adı verilmektedir. Probleme yol açan kök nedenler önem veya büyüklük derecelerine göre sıralandığından, düzeltici

faaliyetlerin öncelikli olarak hangi alanlara yönlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmakta ve buna bağlı olarak bu hatanın nerden kaynaklanabileceği araştırılmaktadır (Burnak, 1997, s.50).

Pareto diyagramı nicel veriler dikkate alınarak oluşturulmaktadır. İncelenen problemin kök nedenleri grafiğin yatay ekseninde gruplara ayrılmış bir şekilde kategoriler halinde bulunmakta ve bu kategorilerin sıklığına bakılarak yatay ekseninde çoktan aza doğru sıralanmaktadır (Yılmaz, 2012).

Pareto diyagramı risklerin önceliklendirme aşamalarında kullanılabilir. RPN değerlerinin öncesi ve sonrasına ait değerleri analiz etmek için FMEA çalışmalarında pareto diyagramına başvurulabilir. Başlangıç RPN değeri ile çalışma sonrası elde edilen RPN değerlerinin karşılaştırılmasında Pareto Analizi kullanılacaktır.

3. DIZAYN FMEA

Dizayn FMEA, tasarımdan kaynaklanan riskleri düşürmek için yapılır. Dizayn hedeflerine yardımcı olur. Fonksiyonel gereksinimleri ve dizayn alternatiflerini içerir. Üretim, montaj, hizmet başlangıç tasarımlarını değerlendirir. Potansiyel hataları ve onların müşteri üzerindeki etkilerini azaltır. Etkili bir dizayn planlaması aşamasına yardımcı olur. Tavsiyeleri ve aksiyonları içererek bu faaliyetlerin takibini kolaylaştırır. Gelecek çalışmalara referans olur. Edinilmiş tecrübelerle katkı sağlar (Juhaszova, 2013).

Dizayn FMEA yaşayan bir dökümandır. Proje geliştirme sürecinde oluşan tüm değişiklikler yansıtılarak güncelliği sürekli sağlanmalıdır. Dizayn sonucuna bağlı olarak üretim ve montajda görülebilecek hata türleri ve kök sebeplerini içerir. Dizayn değişiklikleri ile bazı hataların riskleri minimize edilmeye çalışılır. Dizayn FMEA analizleri ile azaltılamayan hata türlerine ait etkiler ve kontroller PFMEA'ya transfer edilmelidir. Potansiyel dizayn zayıflıkları için, DFMEA proses kontrollerine dayandırılmamalıdır. Dizayn FMEA son kullanıcıya gidecek ürüne odaklanmalıdır. Etkili bir DFMEA yapmak için öncelikli olarak ekip oluşturulmalı, kapsam belirlenmeli, Sınır diyagram veya P diyagramlar tamamlanmalıdır (AIAG, 2008).

3.1. Dizayn FMEA Girdileri

Dizayn FMEA, beklentilerin neler olduğunun belirlenmesi ve bununla ilgili bir listenin hazırlanması ile başlar. Müşteri beklentileri ve gereksinimlerinin bu listenin ana maddelerini oluşturması gerekir. Müşterinin sesi her yönüyle analiz edilmeli ve ölçülebilir girdilere dönüştürülmelidir (Chin vd., 2008).

Müşteriden gelen teknik datalar, şartnameler, teknik resimler, benzer ürünler için iç müşterilerden gelen geri dönüşler, rakip firmaların benzer ürünlerine ait kıyaslama (Benchmark) raporları, edinilmiş tecrübeler (Lessons learned), benzer parçalara ait müşteri şikayetleri ve öneriler, kalite raporları, düzeltici ve önleyici aksiyon raporları, kalite ve güvenilirlik hedefleri, tasarım doğrulama kriterleri, ürün

varsayımları, dizayn FMEA girdisi olarak değerlendirilmelidir. Benzer ürünlere ait FMEA çalışmalarının incelenmesi de analize başlamadan önce yapılacaklar arasında önemli bir aşama olarak yer alır (Stamatis, 2003).

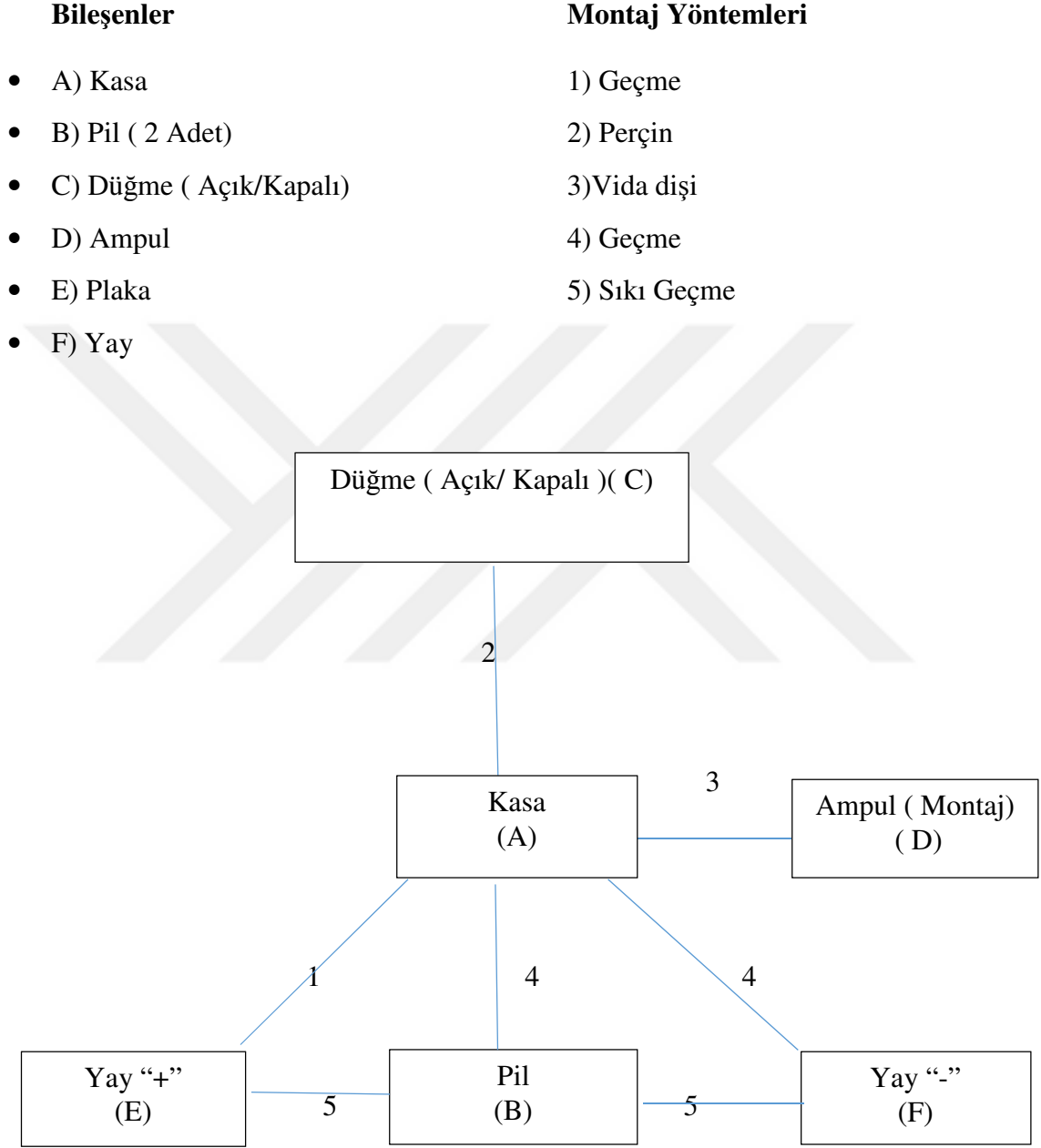
Ford Motor Company tarafından yayınlanan FMEA Handbook'un 2011 yılına ait son versiyonunda belirtildiği üzere Dizayn FMEA girdileri arasında; Sınır Diyagramı (Boundary Diagram), P- Diyagramı (Parameter Diagram) otomotiv sektörü için kullanılmasının önemi açıklanmıştır (Ford Motor Company, 2011).

3.1.1. Sınır Diyagram

Sistem ve alt sistemin kendi bileşenleri ile birlikte olan ilişkilerini gösterir. Aynı zamanda, komşu sistem ve alt sistemler ile etkileşimi de gösteren grafiksel bir araçtır. Özellikle karmaşık sistemlerin anlaşılabilir bir seviye getirilmesi için kullanılır. P-Diyagramına girdi oluşturur. Tamamlandığında veya herhangi bir güncellenme durumunda ilgili FMEA'nın ekine konulmalıdır (Tunçelli, 2006).

Dizayn aşamasının başlangıcında sınır diyagramı sadece sistem seviyesinde etkileşimleri gösteren bloklardan oluşabilir. Süreç ve tasarım ilerledikçe sınır diyagramları güncellenmelidir. Bileşen detayına kadar olan alt seviyeleri belirtmek için ilave diyagramlar hazırlanmalıdır. Dizayn FMEA'nın başlangıç noktası sınır diyagramı olmalıdır. Bu diyagram ile analizin kapsamı tüm ekip için net bir şekilde görülerek ekibin kapsamdan uzaklaşması engellenecektir. Şekil 1'de örnek bir Sınır diyagram verilmektedir (<http://www.lfma.ford.com/>)

Şekil 1. Sımr Diyagram



(Kaynak: TÜVRheinland, 2015)

3.1.2. P-Diyagramı

Bir fonksiyona ait girdilerin (sinyal faktörleri) ve çıktılarının (Tepki) tanımlandığı bir analizdir. Fonksiyon için girdiler ve çıktılar belirlendikten sonra hata türleri tanımlanabilir. Potansiyel hata türleri tanımlandıktan sonra değişkenler listelenir. Sonrasında, bu değişkenleri yansıtacak olan kontrol faktörleri belirtilir (Ford Motor Company, 2011).

Genellikle süreçlerde oluşabilecek risklerin, girdilerdeki değişkenliklerden kaynaklandığı kabul edilir. Bu değişkenlikler; genel ve özel olarak ikiye ayrılır. Sürecin doğasından kaynaklanan değişkenler genel değişkenler, beklenmeyen durumlardan kaynaklanan ve özel bir durumu yansıtan değişkenler ise özel değişkenler olarak tanımlanır. Genel değişkenler bütün sistemi etkisi altına alırken, özel değişkenler sadece spesifik ve sınırlı bir grubu etkisi altına alır. Özel değişkenler sistemin çıktısını olumsuz etkileyen, hataya neden olan, kontrolü maliyetli ve zor parametrelerdir (http://thequalityportal.com/p_diagram.htm).

Değişkenler, P diyagramında gürültü faktörleri olarak tanımlanmaktadır. Gürültü faktörleri; parçadan parçaya kaynaklanan, zamana bağlı ortaya çıkan, müşterinin kullanımı sonrasında oluşan, sistem etkileşimleri (iç etkenler), dış etkenler olarak tanımlanır. Kontrol faktörleri, ilgilenilen sistem, alt sistem veya parçanın fonksiyonlarını daha kalıcı olmasını sağlayan parametrelerdir (Juhaszova, 2013).

P-Diyagramında hatalar iki kategori altında tanımlanır. Bunlar;

1. Beklenen fonksiyondan sapma: Hata Türü ve Etkileri Analizi'ndeki hata türlerine karşılık gelir. Fonksiyonu yerine tam olarak getiremememe, kısmen yerine getirme, kesintili fonksiyon veya istenmeyen fonksiyon oluşturma şeklindedir.

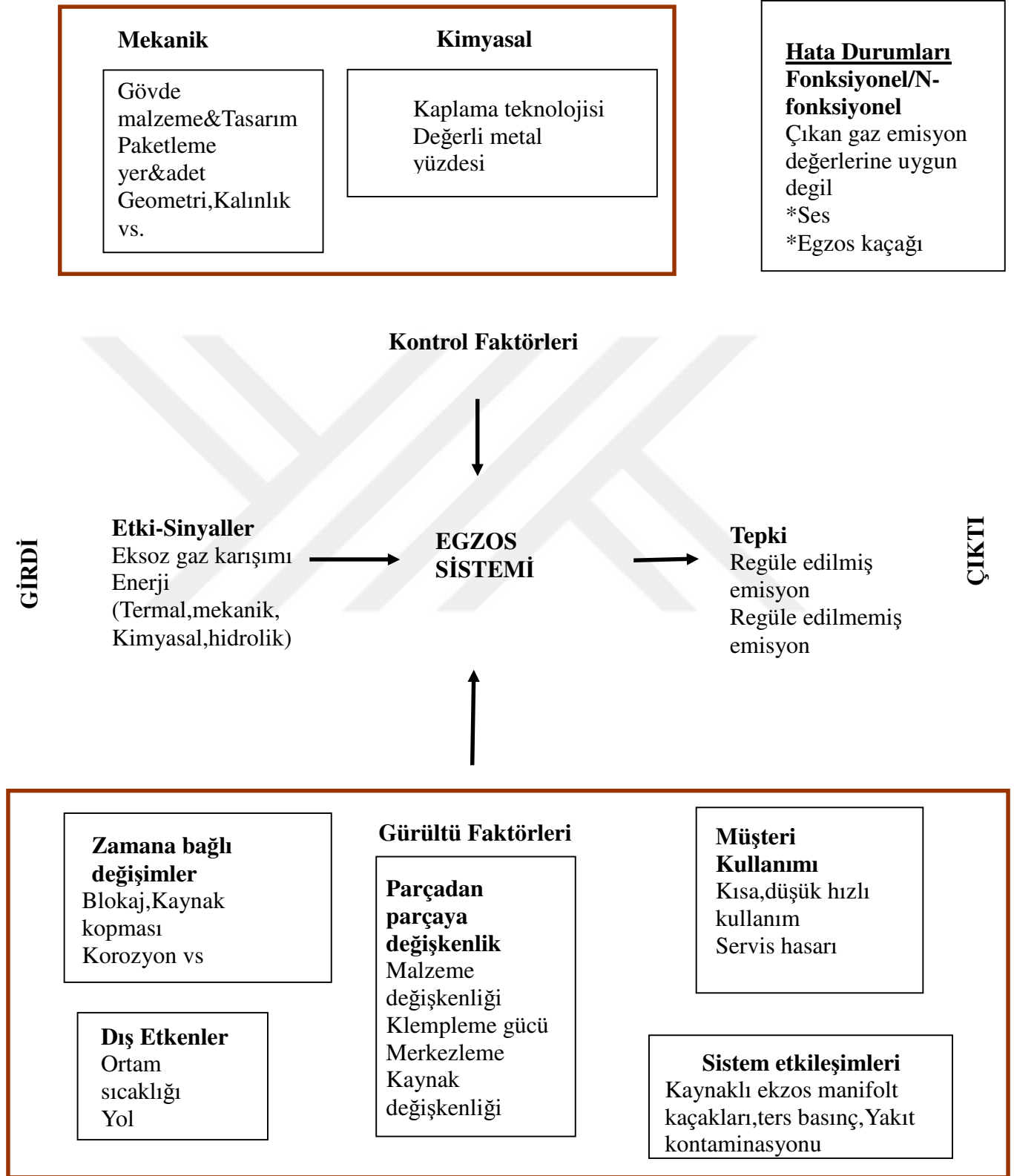
2. Beklenmeyen sistem çıktısı: P- Diyagramı; girdilerin %100'ünün çıktı'ya dönüştürülmesidir. Bir sistem teoride, uygulanan enerjinin (sinyal), tamamının çıktı enerjisine dönüştürülmesi sonucunda ideal fonksiyonuna ulaşır. Ancak uygulamada bu şekilde gerçekleşmez. Tüm sistemler girdi enerjisinin dönüşümünde %100'ün

altında bir verime sahiptir. İşte aradaki bu kayıp, beklenmeyen sistem çıktısı veya hataların oluşmasına gider (http://thequalityportal.com/p_diagram.htm).

P-Diyagramı'nın amacı; tasarım girdilerinin ideal çıktılara dönüştürülmesi esnasında ortaya çıkabilecek hataların, kontrol faktörleri, gürültü faktörlerinin belirlenmesidir. Ekiplerin beyin fırtınası yaparak bu karakteristikleri dökümante etmeleri diyagramların amacına uygun kullanımı açısından önemlidir. P-Diyagramlarının oluşturulmasının sağlayacağı en önemli fayda; ölçülebilir parametreler açısından sistemin anlaşılabilir hale getirilmesidir. Şekil 2'de örnek bir P-Diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. P-Diyagramı



3.2.Dizayn FMEA Uygulama Formu

FMEA çalışmalarının yapılabilmesi için standart bir form kullanılır ve tüm takipler bu form üzerinden yürütülür. Bu form genel olduğu gibi müşteri isteklerine ve sektöre göre değişkenlik gösterebilir. Şekil 3’de Dizayn FMEA Uygulama Form örneği verilmiştir. FMEA formları her analiz türü için farklılıklar gösterebilir. Standart bir formun kullanılması; analize ait tüm çalışmaların kolay izlenebilir ve sürdürülebilir olmasını sağlar.

Otomotiv sektörüne yönelik kullanılan Dizayn FMEA formunun başlıkları aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Yusoff vd., 2009).

FMEA Numarası: FMEA’nın firma içinde izlenebilirliğini sağlamak ve takip sistemlerinde yönetebilmek için oluşturulan doküman numarasıdır.

Sistem/Alt Sistem/Bileşen Adı: Hangi ürüne ait ise o ürünün seviyesini gösterir. Bir sistem, çeşitli alt sistemlerden oluşabilir.

Çekirdek Ekip: FMEA çalışmasında yer almış ekip üyelerinin ad soyadları ve sorumlulukları yazılır. Farklı disiplinlerden olması FMEA çalışmasının etkinliği için kritiktir.

Model Yılı : Çalışmanın yapılacağı aracın model yılı yazılır.

Firma: Hangi müşteriye ait ürün ise o firmanın ismi yazılır.

Bölüm: Dizayn FMEA’nın hangi bölüm veya departmanın sorumluluğunda olduğu belirtilir.

Hazırlayan: FMEA’ yı hazırlamaktan sorumlu kişinin adı ve soyadı yazılır.

Anahtar Tarih: Proje planı içerisinde FMEA’nın uyması gereken ilk kritik tarih yazılır. Anahtar tarih orjinal tarihten sonra olmalıdır.

FMEA Orjinal Tarihi: FMEA çalışmasının ilk başladığı tarih yazılır.

FMEA Son Revizyon Tarihi: FMEA da herhangi bir sebeple yapılan değişiklik varsa bu tarih mutlaka güncellenmelidir. Bu tarih aynı zamanda FMEA’nın etkileşimde olduğu diğer dokümanların tarihlerini de etkileyecektir .

Şekil. 3 Dizayn FMEA Uygulama Formu

DFMEA Numarası:

Model Yılı:

DFMEA Hazırlayan:

Sistem:

Firma:

DFMEA Anahtar Tarih:

Alt Sistem:

Bölüm:

DFMEA Orijinal Tarih:

Bileşen adı

DFMEA Revizyon Tarihi:

Çekirdek Ekip:

Fonksiyon:

Potansiyel Hata Türü	Max Şiddet	Hatanın Potansiyel Etkisi	Şiddet	Sınıf	Hatanın Kök Nedeni/ Mekanığı	Olasılık	Mevcut DizaynKontroller (Önleyici)	Mevcut Dizayn Kontroller (Yakalayıcı)	Yakalama	RPN	Tavsiye ve Aksiyonlar	Sorumlu	Hedef tarih	Aksiyon sonrası				
														Şiddet	Olasılık	Yakalama	RPN	% Risk Azalma

(Kaynak: IHS-Pro8; 2016)

3.2.1. Fonksiyon

Fonksiyon; bir ürünün müşteri beklenti ve isteklerini yerine getirmesi için gereken görevidir. Birincil (temel) ve ikincil (destek) fonksiyon olmak üzere ikiye ayrılabilir. Birincil fonksiyon; ürünün var olmasının asıl nedenlerini ortaya koyan temel fonksiyonlardır. İkincil fonksiyon ise ürünün varlığı nedeniyle sağlayacağı diğer fonksiyonlardır. Fonksiyon; sayısal ve ölçülebilir ifadeler ile tanımlanması önerilir (Aldridge, 1990).

Birincil fonksiyon ürünün oluşma ve tasarlanma amacını ortaya koyar. Ürünün birincil yerine getirmesi gereken fonksiyonlara örnek; fren sisteminin durdurması, kapının açılıp kapanma uygunluğu vb. verilebilir. İkincil fonksiyonlar ise daha çok görsel, estetik vb. fonksiyonları içerir. Örnek olarak araç kasasında görsel kusurun olmaması, camda çizik vb. olmaması verilebilir. İkincil fonksiyonların daha az önemli olduğu düşünülmemelidir. Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren yansanayi firmaların yaşadığı en çok sorun ikincil fonksiyonlardaki sapmalardır. Çünkü firmalar asıl fonksiyona odaklandıkları için diğer ikincil fonksiyona bağlı hataları çok daha kolay kaçırabilmektedir.

3.2.2. Potansiyel Hata Türü

Dizayn FMEA da Potansiyel hata türü müşterinin ihtiyaç, istek ve beklentileri ile örtüşmeyen; bir ürünün beklenen fonksiyonunu gereği gibi yerine getirememesidir (AIAG, 2008).

Hata türü, fiziksel özellikler ile tanımlanmalıdır. Potansiyel hata türünü belirlerken, hatanın ortaya çıkabileceği fakat ortaya çıkmasının gerekmeyeceği kabulü yapılır. Potansiyel hata türü, genellikle hatanın ortaya çıkma türü ve sistemin çalışmasındaki etkisinin tanımını içerir (Stamatis, 2003).

Hata türleri tanımlanırken, Dizayn FMEA girdileri (P-Diyagramı, Sınır Diyağramları vb.) kullanılmalıdır. Ürün tamamen yeni ise; bu aşamada FMEA ekibinin tecrübesi ve benzer ürünlerdeki hatalar önemli rol oynar. Ürünün her bir fonksiyonu

için hata türleri listelenir. Hatanın mutlaka gerçekleşmiş olması gerekmez, çok düşük bir ihtimal de olsa, gerçekleşme olasılığının olması değerlendirilmeye alınması için yeterli ve önemlidir.

FMEA ekibi, potansiyel hata türlerini ortaya çıkarmaya çalışırken aşağıdaki sorularla çalışmasına yön verebilir (Standard Volvo Group, 2009);

- Bu ürün beklenen fonksiyonu yerine getirirken ne tür hatalar ortaya çıkabilir?
- Ürünün hangi hatası asıl fonksiyonunu yerine getirmeyebilir?
- Dizaynı yapılan ürün nerede, nasıl ve hangi çevresel koşullar altında çalışacak?
- Ürün diğer sistemler ile nasıl etkileşime girecek?

Çok sık karşılaşılan hata türlerine örnek olarak; deforme olma, kırılma, sızıntı, montaj yapılamama, gevşeme, yapışmama ve paslanma verilebilir.

3.2.3. Hatanın Potansiyel Etkisi

Hata ortaya çıkarsa hatanın müşteri de oluşturacağı etki veya müşterinin algılayacağı-hissedeceği etkiler olarak tanımlanır. Hata meydana geldiğinde, müşterinin üründen veya etkileşimindeki parçalar üzerinde neleri fark edebileceği değerlendirilir. Hatanın potansiyel etkisi, müşterinin dikkat edeceği veya karşılaşılabileceği ürün fonksiyonları açısından tanımlanmalıdır (Santos ve Cabral, 2008).

Müşteri, DFMEA çalışmasında montaj yeri veya son kullanıcıdır. Hata gerçekleştiğinde etkisi emniyet, iş güvenliği veya yasalara uyumsuzluk oluşturacak ise FMEA çalışmalarında ayrıca belirtilmelidir. Bu durum aynı zamanda sınıf kısmında özel karakteristik olarak değerlendirilir (Pillay ve Wang, 2003).

Örneğin, bir parça kırılabilir, bu kırılma montaj parçalarında vibrasyona neden olabilir ve sonuç olarak sistem fonksiyonlarının belirli bir süre devre dışı kalmasına veya fonksiyonun kaybolmasına neden olabilir. Belirli bir süre devre dışı kalan fonksiyon ise aracın performansının düşmesine sonrasında da etki olarak müşteri memnuniyetsizliğine neden olur.

3.2.4. Şiddet

Şiddet; potansiyel hatanın müşteriye olan etkisi üzerinden, önem ve tehlike derecesinin değerlendirilerek puanlandırılmasıdır. Sadece etkiye bağlı olarak değerlendirilir. FMEA ekibi, Tablo 1’de verilen Dizayn FMEA Şiddet Değerlendirme Tablosu’nu kullanarak, hata türlerinin şiddet puanlarını belirler. Şiddet puanı 1 ile 10 arasında değerlendirilir. Hata şiddeti değerlendirilmesinde, hatanın müşteri üzerindeki etkisi dikkate alındığından, potansiyel kök nedenlerine de aynı şiddet puanı verilir. Şiddet puanı sadece ürün tasarımında alınabilecek önlemlerle veya ürünün tasarımına müdahale ederek değiştirilebilir (Standard Volvo Group, 2009).

Şiddet kolonuna en kötü senaryo dikkate alınarak bir puan girilmelidir. Bu nedenle her bir hata türü için yalnızca tek bir şiddet değeri olmalıdır. Müşterilere etkisi ayrı ayrı değerlendirilerek puanlanır. Tablo 3.1’e bakarak müşteride söz konusu hatanın nasıl bir etki oluşturacağı belirlenip FMEA ekibince bir puan verilir. Verilen puanlardan en yüksek etki yani en yüksek puan Şekil 3. Dizayn FMEA Uygulama Formundaki maksimum şiddet kolonuna işlenir.

3.2.5. Sınıf/ Özel Karakteristik

Özel karakteristik olarakta adlandırılan sınıf (class) otomotive özgü bir uygulamadır. Kullanıcı emniyetini, kanunlara uygunluğu, fonksiyonelliği, uyumu ve görüntüyü etkileyen parametreler özel karakteristik olarak tanımlanır. Özel sembollerle gösterilir. Müşteriden müşteriye semboller değişiklik gösterir (Ford Motor Company, 2011).

Özel karakterestikler müşterilerden doğrudan gelebileceği gibi yan sanayi firması da özel karakteristik belirleyebilir. Müşteriden gelen özel karakteristikler şartnamelerle, teknik resimlerle, datalarla gelebilir. Örneğin; bir ürünün tasarımında boy uzunluğunun özel karakteristik olduğunu müşteri eğer bildirmişse yan sanayi ürünü tasarlarken boy uzunluğunda bu durumu dikkate alarak buna ilişkin proseslerde özel kontroller geliştirmelidir.

Otomotiv sektöründe özel karakteristiklerin yönetimi IATF 16949:2016 Kalite Yönetim Sistemlerine göre zorunluluktur. Standartın 8.3.3.3 Özel karakteristik maddesine göre firma kendi özel karakteristik tanımlamasını yapmalı ve yönetmelidir. Tüm özel karakteristikler kontrol planları, teknik resimler, operatör talimatları, çalışma talimatlarında yer almalıdır (IATF 16949, 2016).

Dizayn FMEA çalışmasında belirtilmiş bir özel karakteristik sembolü Proses FMEA çalışmasına da yansıtılmalıdır. Proses içerisinde özel kontrollerle, özel ölçüm yöntemleri ile proses kontrol altına alınmalıdır. İstatistiksel proses kontrol kartları, hata önleme sistemleri, otomatik ölçüm yöntemleri vb. bu uygulamalara örnek verilebilir. Ek-1 Müşteri Özel Karakteristik Tanımlamaları tablosunda Otomotiv firmalarının müşteri bazında özel karakteristik sembolleri verilmiştir.

Tablo 1. Dizayn FMEA Şiddet Değerlendirme Tablosu

Etki	Kriter: Üründe Etki Şiddeti (Müşteri Etkisi)	Derecesi
Emniyet ve /veya yasal gereklilikleri karşılamaması	Potansiyel Hata modunun herhangi bir ikaz vermeden ,Kullanıcı emniyetini etkilemesi veya yasal yükümlülükleri ihlal etmesi	10
	Potansiyel Hata modunun ikazlı olarak ,kullanıcı emniyetini etkilemesi veya yasal yükümlülükleri ihlal etmesi	9
Ana fonksiyonlarda kayıp veya azalma	Ana fonksiyon kaybı (araç çalışmaz ancak emniyeti etkilemez)	8
	Ana fonksiyon azalması (araç düşük performans ile çalışır)	7
İkincil fonksiyonlarda kayıp veya azalma	Tali fonksiyon kaybı (araç çalışır ancak konfor ve uygunluk fonksiyonları çalışmaz)	6
	Tali fonksiyon azalması (araç çalışır ancak konfor ve uygunluk fonksiyonları düşük performansla çalışır)	5
Hoşnutsuzluk	Araç çalışır ancak, müşterilerin çoğunluğu (>%75) tarafından farkedilen Görünüm veya Duyulabilir Gürültü uygunsuzluğu vardır.	4
	Araç çalışır ancak, birçok müşterileri (%50) tarafından farkedilen görünüm veya duyulabilir gürültü uygunsuzluğu vardır.	3
	Araç çalışır ancak, seçici müşteriler (<%25) tarafından farkedilen görünüm veya duyulabilir gürültü uygunsuzluğu vardır.	2
Etkisi yok	Kayda değer bir etkisi yoktur	1

(Kaynak : AIAG, 2008)

3.2.6. Potansiyel Kök Nedenler /Hatanın Mekaniki

Hataların potansiyel kök nedenleri, hata türlerine neden olacaktır. Dizayn zayıflığının göstergesi olarak belirtilir. Her hataya neden olabilecek bütün potansiyel kök nedenler tanımlanmalıdır. Kök nedenler kısa, öz ve teknik terimlerle ifade edilmelidir. Kök nedenler hataları ortaya çıkarır. Hatalar da müşteri üzerinde olan etkileri oluşturur (Meng ve Lim, 2006).

DFMEA için potansiyel kök nedenler belirlenirken problem çözme tekniklerinden faydalanılır. İnsan, Malzeme, Makine, Metod, Çevre faktörleri dikkate alınarak kök nedenler belirlenebilir. Örnek olarak; müşteriden gelen dataların kontrol edilmemesi, yanlış malzeme seçimi, yetersiz ömür tahmini, yanlış kaplama kullanımı, eksik/yanlış ölçü belirlenmesi, yanlış algoritma ve uygun olmayan toleranslandırma verilebilir.

Dizayn FMEA'nın amacı, üretim veya montaj hatlarında değişkenliklere neden olabilecek tasarım yetersizliklerinin belirlenmesidir. Dizayn FMEA, tasarımdaki potansiyel zayıflıkları gidermek için proses kontrollerine dayandırılmaz ancak üretim proseslerindeki teknik ve fiziksel kısıtları da dikkate alır. Dizayn eksikliğinden kaynaklanan değişkenlikler ve sapmalar Proses FMEA sırasında mutlaka incelenmelidir (VDA-4, 2012).

3.2.7. Görülme Sıklığı-Olasılık

Görülme sıklığı dizayn süreci içerisinde spesifik bir kök nedenin ortaya çıkma olasılığıdır. Potansiyel kök nedenin ve oluşturduğu hatanın birlikte meydana gelme olasılığıdır. Olasılık 1 ile 10 arasında bir puan ile değerlendirilir. Kök nedenler ve hata türünün gerçekleşme olasılığı değerlendirilerek puanlanır. Görülme sıklığı tahmin edilemez ise puan 10 olarak değerlendirilir (Ionescu ve Vişan, 2011).

Dizayn değişikliği, hata türünün bir veya birkaç kök nedenin ortadan kaldırılmasını, kontrol altına alınmasını, görülme sıklığını azaltmanın bir yoludur. Deney tasarımı yapılarakta olasılık düşürülebilir. Müşteri karşısında çıkabilecek

hatanın veya onu oluşturan kök nedenin benzer ürünlerden hareketle, istatistiki geçmiş veri kayıtları ile görülme sıklığı tablodan bakılarak değerlendirilir. Dizayn FMEA Olasılık/Görülme Sıklığı Değerlendirme Tablosu, Tablo 2’de verilmektedir.

3.2.8. Mevcut Kontroller

Dizayn kontrolleri; ürün tasarımından kaynaklanan hataların müşteriye ulaşmaması için yapılan kontrolleri içerir. Hata türü ve potansiyel kök nedenlerin oluşmasını önlemek, yakalamak için uygulanacak kontroller; mevcut tasarım kontroller kolonunda tanımlanır (Zhenyong, 2014).

Mevcut kontroller; daha önce benzer parçalar üzerinde uygulanmış veya uygulanmakta olan kontrolleri de içerebilir. Tanımlanan kontroller, doğrudan doğruya hatanın kök nedenlerini önlemeye veya ortadan kaldırmaya yönelik olmalıdır. Mevcut dizayn kontroller kolonunda; planlanacak kontroller değil sadece var olan kontroller belirtilir. Sonradan kontrol uygulanacaksa Şekil 3. Dizayn FMEA Uygulama Formundaki “Tavsiye edilen Aksiyonlar” kolonuna yazılmalı ve diğer mühendislik dokümanlarına yansıtılmalıdır.

Mevcut kontrol yöntemleri arasında dizayn doğrulama ve geçerli kılma amacı ile yapılan testler (laboratuvar ve araç testleri) önemli bir yer tutar. Bilgisayar ortamında yapılan simulasyon ve analizler (FEA- Finite Element Analysis vb.), mühendislik talimatları ve hesaplamaları, tasarım gözden geçirmeler de mevcut dizayn kontrolleri olarak belirtilebilir. Dizayn kontrol listeleri, dizayn gözden geçirme ve klavuzları kontroller olarak tanımlanabilir (Ford Motor Company, 2011).

Mevcut dizayn kontrolleri iki farklı şekilde olur;

Önleyici kontroller: Potansiyel kök nedenin/mekanizmasının veya hata türünün ortaya çıkmasını engelleyen veya gerçekleşme olasılığını azaltan kontrollerdir. Önleyici kontrollere örnek olarak; kıyaslama (Benchmark) çalışmaları, İç-dış dizayn ve malzeme standartları, edinilmiş tecrübeler, iyi uygulamalar, simulasyon çalışmaları, poka-yoke (hata önleme teknikleri) gösterilebilir (SAE J1739, 2009).

Yakalayıcı kontroller: Potansiyel kök nedeni/mekanizmasını veya hata türünü yakalayıp ortaya çıkaran kontrollerdir. Yakalayıcı kontrollere örnek olarak; dizayn gözden geçirmeler, prototip testler, doğrulama (validasyon) testleri, dizaynı doğrulamak için kullanılan simülasyon analizleri, benzer parçalara ait örnek, deney tasarımı (DOE-Design of Experiment), güvenilirlik testleri, modeller gösterilebilir (Wu vd., 2014).

Dizayn FMEA da tavsiye edilen yaklaşım; öncelikli olarak önleyici kontrollerin uygulanmasıdır. Hatanın gerçekleşmeden önce önlenmesi ve yakalanmaya ihtiyaç duyulmaması tavsiye edilir. Yakalayıcı kontrollere kadar bir hatanın gelmiş olması müşteriye kaçabileceği anlamına da gelecektir. Dolayısı ile mevcut kontroller içerisinde FMEA ekibi sürekli hatanın ve kök nedenin önlenmesini değerlendirmelidir. Sonrasında yakalayıcı kontroller tanımlanabilir.

Görülme sıklığı -olasılık puanlandırması, tasarım hedefinin bir parçası olarak önleyici kontrollerden etkilenecektir. Görülme sıklığı-Olasılığa ait puanı verirken dizayn aşamasında herhangi bir önleyici kontrol olup olmadığı belirlenerek tekrar puan gözden geçirilmelidir (Ford Motor Company, 2011).

Potansiyel hata türlerini veya kök nedenlerini ortaya çıkarmak için geçmiş FMEA çalışmaları kullanılır. Bu çalışmalar içerisinde tasarım doğrulama planları ve güvenilirlik kontrol listelerinin yanı sıra, benzer ürünlerin kontrolleri, daha önceki problem çözme analizleri referans alınır. Problem çözme analizlerinde hatanın ve kök nedenin ortadan kaldırılması için kullanılmış olan kontrol yöntemleri mutlaka dizayn FMEA çalışmalarında değerlendirilerek, hataların tekrarlanmaması sağlanır.

Bazı FMEA formlarında önleyici kontroller ve yakalayıcı kontroller tek bir kolonda tanımlanabilir. Bu şekilde olduğunda; aynı kolona yazılan kontrollerin sonuna Önleyici (Ö) ve Yakalayıcı (Y) gibi kısaltmalar konularak iki tip kontrol birbirinden ayrılabilir. Bu çalışmada kullanılan ve FMEA Pro8 IHS firmasından alınan örnek şablon da “Mevcut Tasarım Kontrolleri” kolonu; önleyici ve yakalayıcı olarak ikiye ayrılmıştır.

Tablo 2. Dizayn FMEA Olasılık/Görülme Sıklığı Değerlendirme Tablosu

Hata Olasılığı	Kriter: Sebebin oluşma ihtimali-DFMEA (Parça/ Aracın tasarım ömrü ve güvenirligi)	Kriter: Sebebin oluşma ihtimali-DFMEA (Parça/ Araçta hata olma oranı)	Derecesi
Çok Yüksek	Geçmiş olmayan Yeni Teknoloji /Yeni Tasarım.	$\geq 100 /1000$ $\geq 1 /10$	10
Yüksek	Yeni tasarım, yeni uygulama veya çevrim süresi / çalışma koşullarındaki değişiklik ile hata kaçınılmaz.	50 /1000 1 /20	9
	Yeni tasarım, yeni uygulama veya çevrim süresi / çalışma koşullarındaki değişiklik ile hata olasıdır.	20 /1000 1 /50	8
	Yeni tasarım, yeni uygulama veya çevrim süresi / çalışma koşullarındaki değişiklik ile hata belirsizdir.	10 /1000 1 /100	7
Orta	Benzer tasarımlarda veya tasarım simülasyon ve testlerinde sık sık hatalar olmuştur.	2 /1000 1 /500	6
	Benzer tasarımlarda veya tasarım simülasyon ve testlerinde ara sıra hatalar olmuştur.	0,5 /1000 1 /2,000	5
	Benzer tasarımlarda veya tasarım simülasyon ve testlerinde izole edilmiş hatalar olmuştur.	0,1 /1000 1 /10,000	4
Düşük	Hemen hemen aynı tasarımlarda veya tasarım simülasyon ve testlerinde sadece izole edilmiş hatalar olmuştur.	0,01 /1000 1 /100,000	3
	Hemen hemen aynı tasarımlarda veya tasarım simülasyon ve testlerinde hiç hata gözlenmemiştir.	$\leq 0,001 /1000$ $\leq 1 /1,000,000$	2
Çok Düşük	Önemeye yönelik kontrollerle hata elimine edilmiş	Önemeye yönelik kontrollerle hata elimine edilmiş	1

(Kaynak: AIAG, 2008)

3.2.9. Yakalanabilirlik

Yakalanabilirlik; mevcut dizayn kontrolleri içerisinde yakalamayı kullanarak, potansiyel hata türlerini veya kök nedenlerini ortaya çıkarılabilme yeteneğidir. Hata olmuş gibi düşünülerek, hatanın müşteriye kaçmasını engellemek için kullanılan değerlendirmedir (Prajapati, 2012).

Dizayn kontrollerine örnek olarak; FEA (Sonlu elemanlar analizi) simülasyonlar, geometrik ve boyutsal toleranslandırma çalışmaları, dizayn gözden geçirme çalışmaları, malzeme uygunluk çalışmaları, ön seri üretim üzerinde yapılan testler veya prototip çalışmaları, dizayn geçerli kılma testleri, deney tasarımı, benzer dizaynlardan edinilmiş tecrübeler verilebilir (MFMEA, 2012).

Dizayn zayıflıklarının belirlenme sürecinde sistematik bir yol izlenmelidir. Bunu yapabilmek için dizayn doğrulama (design validation) programı uygulanmalıdır. Dizayn doğrulama; ölçüm, test ve gözlem sonucunda elde edilir. Gerçek verilere dayalıdır. Doğruluğu kanıtlanmış olan bilgilerin, belirlenmiş istek ve beklentileri yerine getirmek için kullanılır. Dizayn doğrulama çalışmalarının, tasarımın zayıflığını belirleme gücü yakalanabilirlik puanı ile tanımlanır (Stamatis, 2003).

Yakalanabilirlik (Detection-D) 1 ile 10 arasında puan alır. Tablo 3. Dizayn FMEA Yakalama Kriterlerine göre FMEA ekibi bu değerlendirmeyi yapar. FMEA ekibi, her bir dizayn kontrol yönteminin etkinliğini öngörmeye çalışmalıdır. Yakalanabilirlik puanının değerlendirilmesinde 1 puan; hatayı önlemekle eşdeğer tutulduğu için yakalama güvenilirliğinin % 99.95 olduğu anlamına gelir. Çalışmalarda bu değer yakalanması çok kolay olmadığı için; yakalanabilirlik puanı 1 verilir iken dikkatli olunmalıdır (Taşan, 2006).

Yakalanabilirlik puanının yüksek olması, hata ve kök nedenin yakalanma kabiliyetinin düşük olduğu anlamına gelir. Yakalanabilirlik puanı ne kadar yüksek olursa, hatanın ve kök nedenin yakalanma olasılığı ve buna bağlı olarak da riski o kadar yüksek olur. Riskin düşük olması için yakalanabilirlik puanında düşük olması ideal olarak beklenilir. Yakalanabilirlik puanının düşürülebilmesi için mevcut kontrol yöntemlerinin kabiliyetleri artırılmalıdır veya yeni kontrol yöntemleri devreye alınmalıdır. Dizayn FMEA çalışmalarında yapılan hataların

yakalanabilmesi için genellikle başka bir kişinin kontrol sürecinde yer alması, sistematik bir dizayn işleyişinin olması uygun olur. Dizayn değişiklikleri de yakalanabilirlik puanını düşürebilir (Stamatis, 2003).



Tablo 3. Dizayn FMEA Yakalama Kriterleri

Yakalama Fırsatı	Kriter: Tasarım Kontrollerle Yakalama İhtimali	Derecesi	Yakalama İhtimali
Yakalama İhtimali yok	Tasarım kontrol yok; yakalanamaz veya analiz edilmez	10	Hemen Hemen İmkansız
Herhangi bir aşamada yakalanması zor	Tasarım analiz/yakalama kontrollerinin yakalama yeteneği zayıf; beklenen gerçek çalışma koşullarıyla simülasyon analizleri (FEA vb.) bağlantısı kurulmamış.	9	Çok Zor
Tasarımın tamamlanmasından sonra ve ürünün devreye alınmasından önce	Tasarımın tamamlanmasından sonra ve ürünü devreye almadan önce yapılan "Geçti / Kaldı" testleri (Kabul kriterleriyle yapılan Araç sürüş, kullanma, nakliye değerlendirmeleri vb. gibi sistem veya altsistem testleri)	8	Zor
	Tasarımın tamamlanmasından sonra ve ürünü devreye almadan önce yapılan "Hata Oluşana Kadar Test" testleri (Hata oluşana kadar yapılan sistem veya altsistem testleri, sistem bağlantılarının testleri vb.)	7	Çok Düşük
	Tasarımın tamamlanmasından sonra ve ürünü devreye almadan önce yapılan "Performans azalması (Degradation) " testleri (Dayanıklılık testlerinden sonra yapılan sistem veya alt sistem testleri, fonksiyonel kontroller vb. gibi)	6	Düşük

Tablo 3. Devam. Dizayn FMEA Yakalama Kriterleri

Yakalama Fırsatı	Kriter: Tasarım Kontrollerle Yakalama İhtimali	Derecesi	Yakalama İhtimali
Tasarımın tamamlanmasından önce	Tasarımın tamamlanmadan önce , "Geçti / Kaldı" (Pass / Fail) testleriyle yapılan Ürün Gerçeklemeleri (güvenilirlik testleri, geliştirme veya gerçekleştirme testleri) (Performans, fonksiyonel kontroller için kabul kriterleri)	5	Orta
	Tasarımın tamamlanmasından önce yapılan "Hata Oluşana Kadar test" ürün gerçekleştirme testleri (güvenilirlik testleri, geliştirme veya gerçekleştirme testleri) (Çatlayana kadar, sızdırana kadar, deforme olana kadar vb.)	4	Orta derecede yüksek
	Tasarımın tamamlanmasından önce yapılan "Performans azalması (Degradation) " ürün gerçekleştirme testleri (güvenilirlik testleri, geliştirme veya gerçekleştirme testleri) (önceki ve sonraki değerler, verilerin yön analizleri (trend) vb.)	3	Yüksek
Simülasyon analiz bağlantısı kurulmuş.	Tasarım analiz/yakalama kontrollerinin yakalama yeteneği çok yüksektir; gerçek veya beklenen çalışma koşullarıyla simülasyon analizleri (FEA vb.) bağlantısı tasarımın tamamlanmasından önce çok yüksek seviyede kurulmuştur.	2	Çok Yüksek
Hata önlenmesi için yakalama uygulanamaz	Hata sebebi veya hata modu oluşumu tasarım çözümlenmesi yoluyla tamamen önlenmiştir. (İspatlanmış tasarım standardı, en iyi uygulama veya bilinen /yaygın malzeme vb.)	1	Hemen Hemen Kesin

(Kaynak : AIAG, 2008)

3.2.10. Risk Öncelik Puanı (RPN)

FMEA ekibi her hata için belirlemiş olduğu şiddet, olasılık ve yakalanabilirlik puanlarını çarparak Risk Öncelik Puanı (Risk Priority Number-RPN) elde eder. Hesaplanan Risk Öncelik Puanına göre iyileştirme alanları saptanır ve öncelikli faaliyet alanları belirlenir (Chang ve Paul 2009).

Bu puan hata türlerinin önceliğini gösteren bir değerdir. FMEA sonucunda elde edilen RPN değerlerinin Pareto Analizi yardımı ile önceliklendirilmesi sağlanabilir. Böylece hangi hata türleri ve bunlara bağlı olan risklerin daha önemli olduğu belirlenebilir. Sonrasında en yüksek RPN değerine sahip hata türleri için düzeltici/önleyici aksiyonlar önerilebilir. Bu aksiyonların amacı; şiddet, olasılık ve yakalanabilirlik puanlarından bir ya da birkaçını azaltmaktır.

Risklerin önceliklendirilmesi yapılırken RPN değerleri tek başına kullanılırsa FMEA çalışmalarında hata yapılabilir. Çünkü RPN değerinin yüksek olması riskin her yönüyle yüksek olduğu anlamına gelmeyebilir. FMEA'nın ilk çıktığı yıllara göre bu değerlendirme ciddi değişiklikler kazanmıştır. AIAG, (2009) FMEA referans manuel kitapçığında artık RPN için bir eşik değerinin zorunlu olmadığı belirtilmiştir. İşletmeler günümüzde sadece RPN değerine bakarak faaliyet alanlarını belirlemiyor. Risk öncelik puanını değerlendirerek herhangi bir sınır ve baraj değer kullanımı, aksiyon ihtiyacı belirleme için önerilen bir uygulama değildir (Sofyalıoğlu, 2011).

Bu değerlendirmenin daha iyi anlaşılabilmesi için Tablo 4. Risk karşılaştırma örneğine bakarak; RPN değerinde 100 sınır değer kabul edilirse Y hata türünün RPN= 112 olduğundan aksiyon alma öncelikli olarak görülmektedir. Fakat X hata türünün Şiddet değeri = 9 ve bu şiddetin karşılığı Tablo 1. Dizayn FMEA Şiddet Değerlendirme Tablosuna göre “Potansiyel hata modunun ikazlı olarak, kullanıcı emniyetini etkilemesi veya yasal yükümlülükleri ihlal etmesidir”. Etkisi “Emniyet ve /veya yasal gereklilikleri karşılamaması” olduğu için risk önceliğinin bu hata türüne verilerek aksiyonun X' den başlatılması gereklidir. Dolayısı ile sadece tek başına RPN değerini dikkate almak iyileştirme alanları açısından yeterli değildir (AIAG, 2008)

Tablo 4. Risk Karşılaştırma

Hata Türü	Şiddet	Olasılık	Yakalama	RPN
X	9	2	5	90
Y	7	4	4	112

(Kaynak: AIAG, 2008)

Riskleri önceliklendirme esnasında sadece RPN değeri dikkate alınmamalı ve özellikle Şiddet kısmı ayrıca değerlendirilmelidir. Otomotiv sektöründe ana sanayiler bu değerlendirme kriterlerini müşteri özel istekleri olarak tanımlamışlardır. Otomotiv üretici firmalar arasında bu değerlendirme kriterlerinde farklılık görülebilmektedir. RPN değerlerine göre veya Şiddet değerlerine göre aksiyon ihtiyaçları oluşmaktadır. OEM'lerin bu istekleri kendi internet siteleri ve özel dökümanlarında tanımlıdır.

VDA-4 (2012), standartı ile faaliyetlerini yürüten Alman grubu otomotiv üreticisi BMW, Audi, VW, Mercedes, Daimler risk önceliklendirmesinde Şiddet ve Olasılık değerlerini dikkate alarak yakalamanın FMEA çalışmalarında son sırada olduğunu belirtmektedir.

Şiddet (S) ve Olasılık (O) puanları birlikte değerlendirildiğinde, aksiyon gerekliliği Şekil 4. Şiddet ve Olasılık Değerlendirme Matrisine göre belirlenir. Bir Otomotiv yansanayi firması; Alman grubu ve VDA ile çalışan bir müşterisi için ürün tasarlayacaksa ve üretecekse bu kriterleri dikkate almak zorundadır.

Şekil 4. Şiddet ve Olasılık Değerlendirme Matrisi

Olasılık	10	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	9	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	8	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	7	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	6	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	5	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	4	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
	3	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
	2	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
	1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Şiddet									

(Kaynak: VDA-4, 2012)

- 1- Yeşil bölgede ise : Aksiyon almaya gerek yoktur.
- 2- Sarı bölgede ise : Mevcut yöntemlerde iyileştirme yapılarak önlem alınmalı ve risk düşürülmeye çalışılmalıdır. Fakat aksiyon almak zorunluluk değildir.
- 3- Kırmızı bölgede ise : Aksiyon almak zorunludur (VDA-4, 2012).

Tüm hata türlerine göre şiddet ve olasılık puanları verildikten sonra hangi alana düşüyor ise o hücre içerisine o faaliyet sayısı belirtilebilir. Kırmızı bölgede mutlaka işletme bazı faaliyetler tanımlayarak sarı veya yeşil alana geçmelidir. Önerilen aksiyonlar şiddet veya olasılığı azaltacak yönde olmalıdır.

Fiat Otomotiv üreticisi için risklerde önceliklendirme yapma ve aksiyon alma zorunluluğu, Tablo 5' de belirtilmiştir.

Tablo 5. Fiat Risk Öncelik Değerlendirmesi

Şiddet	RPN
9-10	≥ 40
7-8	≥ 100
4-6	≥ 120
1-3	≥ 150

Kaynak: Fiat Norms, 00270, 2012)

Fiat firması için RPN değerleri şiddet değeri ile birlikte dikkate alınarak riskler önceliklendirilir. Yukardaki kriterler hatanın RPN ve şiddet değerine bağlı olarak aksiyon alınma yükümlülüğünü belirtmiştir. Yansanayi firmalarının ürünlerine ait tasarımlarda oluşturulan DFMEA çalışması için bu kriterler müşteri bazında dikkate alınmalıdır. IATF 16949:2016 Otomotiv sektörü kalite yönetim sistem standardına göre müşteri isteklerinin yerine getirilmesi gereklidir. Aksi halde yapılacak denetimlerde uygunsuzluk olarak firmalara geri dönüş sağlanır.

General Motors (GM) otomotiv üreticisinin risk önceliklendirme kriteri ise; aşağıdaki şartlar gerçekleştiğinde FMEA çalışmalarında o hata türü için aksiyon belirlenir (General Motors Company, 2015).

- RPN: 0-40 ise aksiyon alınmayabilir.
- RPN: 40-100 ise iyileştirme yapılabilir fakat zorunluluk yoktur.
- RPN: 100 ise aksiyon zorunludur

Renault otomotiv üreticisinin risk önceliklendirme kriteri; Tablo 6.'da belirtilmiştir. Şiddet ve RPN değerleri birlikte değerlendirilerek aşağıdaki kriterleri sağladığında mutlaka aksiyon alınması gereklidir.

Tablo 6. Renault Risk Öncelik Değerlendirmesi

Şiddet	RPN
9-10	>36
5-8	>50
1-4	>100

(Kaynak: Renault Standart, 2011)

3.2.11. Tavsiye Edilen Aksiyonlar ve Alınan Önlemler

Tavsiye edilen aksiyonlar tanımlanırken Risklerin düşürülmesi hedeflenir; Öncelikle şiddet, sonra görülme sıklığı-olasılık ve daha sonra da yakalanabilirlik puanlarının düşürülmesine yönelik aksiyonlar alınmalıdır. Amaç ürün tasarımından kaynaklanan tüm risklerin azaltılması ve tasarımın geliştirilerek müşteri memnuniyetinin artırılmasıdır (Xiaoxiao vd., 2016).

Tavsiye edilebilecek aksiyonlar arasında; yeni analiz yazılımları veya test cihazlarına yatırım, tasarım geometrisi ve/veya toleransların değiştirilmesi, tasarım doğrulama test plan kapsamının genişletilmesi, malzeme spesifikasyonlarının değiştirilmesi, test karakteristikleri ve kabul kriterlerinin değiştirilmesi, mevcut tasarımların revizyonu, deney tasarımı veya bazı ileri seviye problem çözme tekniklerinin uygulanması yer alabilir (VDA, 2012).

Şiddet puanının azaltılması sadece dizayn değişikliği mümkündür. Görülme sıklığı-olasılık puanının düşürülmesi dizayn değişikliği ile hata türünün kök nedenlerinden birinin veya birkaçının ortadan kaldırılması ve kontrol edilebilir hale getirilmesi ile mümkündür. Dizaynı doğrulama ve geçerli kılma aksiyonlarının artırılması sadece yakalanabilirlik puanında bir azalmaya neden olacaktır. Eğer tavsiye edilen aksiyonların yerine getirilmesi; yüksek bir maliyet, uzun bir zaman gerektiriyorsa birden fazla alternatif önerilerek aralarından en uygunu seçilmelidir. FMEA ekibi herhangi bir önlem tavsiye edemiyor ise; “Tavsiye edilen aksiyonlar” kolonuna “Öngörülmedi” yazılmalıdır (SAE, 2009).

Her bir aksiyon için Sorumlu kişi/bölüm ve hedef tarihin mutlaka yazılması gereklidir. FMEA çalışmasında tanımlanmış aksiyonların tamamı sürecin ekip lideri tarafından takip edilmelidir. Aksiyonlar tamamlandıktan sonra; Şiddet, Olasılık ve Yakalanabilirlik puanları tekrar belirlenir ve yeni RPN değerleri hesaplanır. Son durumdaki risk puanı ürünün yaşadığı güncel risk puanıdır. Herhangi bir dizayn değişikliğinde veya ürünün tasarımından kaynaklı bir müşteri şikayeti bildirildiğinde bu RPN değerleri tekrar gözden geçirilmelidir.

3.3. Dizayn FMEA Çıktıları

Dizayn FMEA'nin çıktıları arasında; potansiyel hatalar ve kök nedenler, kontrol yöntemleri, risklere göre değerlendirmeler, ürün tasarımına ait bilgiler, ürün tasarımı için ihtiyaç duyulan yazılım ve donanımlar, yeni test yöntemleri ve test yapma kriterleri, cihaz ihtiyaçları, mevcut test cihazlarında ve teknik resimlerde revizyon ihtiyaçları, özel karakteristikler, prototip kontrol planları yer alabilir (Stamatis, 2003).

Dizayn FMEA çalışmaları tamamlandıktan sonra yapılan uygulamaların eksiksiz olup olmadığını kontrol etmek ve doğrulamak için standart kontrol listeleri mevcuttur. AIAG'nin APQP (Advanced Product Quality Planning- İleri Ürün Kalite Planlaması) 2006 yılı son revizyon kitapçığında belirtilen A1- Dizayn FMEA Kontrol Listesi otomotiv sektöründe yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu liste üzerinden gidilerek gözden geçirme yapılması tavsiye edilir. Tasarıma yönelik kontrol listesi Tablo 7' de Dizayn FMEA Kontrol Listesi olarak belirtilmiştir.

Kontrol listeleri otomotiv sektöründe müşteriler arası farklılıklar gösterebilmektedir. Alman grubu içerisinde kullanılan VDA için 56 sorudan oluşan bir kontrol listesi kullanılmaktadır. BMW, VW, Daimler, Mercedes, Audi firmaları tedarikçilerinden FMEA çalışmaları sonunda bu kontrol listesini talep etmektedir.

Ford firması Healt Check adını verdiği kontrol listesini kullanmakta ve tedarikçilerinden FMEA sonrası bu kontrol listesini doldurmalarını talep etmektedir. Tedarikçilerin bu kontrol listesi puanlamasından 100 üzerinden minimum 75 puan almış olması beklenilir (www.lfmea.com).

Tablo 7. Dizayn FMEA Kontrol Listesi

Parça Numarası _____

Revizyon
seviyesi _____

	Soru	Evet	Hayır	Uygulama yok	Gerekli Aksiyon	Sorumlu	Hedef Tarih
1	Geçmiş birikimler ve garanti verileri gözden geçirildi mi?						
2	Benzer parçaların DFMEA'larında iyi uygulamalar ve edinilmiş tecrübeler dikkate alınmış mı ?						
3	DFMEA özel karakteristikleri tanımlıyor mu?						
4	FMEA da tespit edilmiş özel karakteristiklerin uygunluğu etkilenen tedarikçileri ile gözden geçirildi mi ?						
5	FMEA çalışmasında Özel karakteristikler tedarikçi süreçlerini garanti altına alacak şekilde organize edilmiş ve tanımlanmış mı ?						
6	Yüksek risk öncelik puanı oluşturan hataları etkileyen tasarım karakteristikleri tanımlandı mı?						
7	Yüksek risk öncelik puanı olanlar için uygun düzeltici faaliyetler belirlendi mi?						
8	Yüksek şiddet değerleri için uygun düzeltici faaliyetler belirlendi mi?						
9	Düzeltilici faaliyetler tamamlandıktan ve doğrulandıktan sonra risk değerleri revize edildi mi?						

(Kaynak: APQP, 2008)

Revizyon
Tarihi _____

4. PROSES FMEA

4.1. Proses FMEA'nin Girdileri

Proses FMEA, procesten beklentilerin neler olduğunun tespiti ile başlar. İ ve dış mşşterilerin beklenti ve ihtiyaçları doğrultusunda şekillenir. Mşşteri isteklerini belirleyebilmek için teknik resimler, benzer őrűnler ile ilgili mşşteri şikayetleri, mşşteri talepleri, istatistiksel proses kontrol raporları, proses akış şemaları, dűzeltici ve őruleyici aksiyon raporları ve benzer proseslere ait kontrol planları detaylı olarak incelenmelidir. Proses akış şemaları Proses FMEA çalışmasının başlangıcını oluşturur (Stamatis, 2003).

Ayrıca Proses FMEA'nin girdileri arasında; mřşterilerden gelen őrűl karakteristlikler, semboller, prototip kontrol planları ve benzer őrűnlere ait Proses FMEA'lar yer alır.

4.2. Proses FMEA Formu

şekil 5'de Proses FMEA çalışmasında kullanılabilir otomotiv sektörünün yaygın kullandığı form örneği verilmiştir. Proses FMEA formunun başlığında genellikle aşağıdaki maddeler bulunmaktadır (Aran, 2006).

FMEA Numarası: FMEA dokűman numarası yazılır.

Sistem/Alt Sistem Adı : Analizin yapıldığı seviyeyi gesterir, sistemin/alt sistemin adı veya numarası yazılır.

Model Yılı: Analizden etkilenecek olan aracın modeli yazılır.

Mřşteri: Hangi mřşteriye ait őrűnűn prosesi ise o mřşterinin adı yazılır

Bölűm: Proses tasarımından sorumlu olan departman yazılır.

Hazırlayan: FMEA'yı hazırlamaktan sorumlu kişinin adı ve soyadı yazılır.

Anahtar Tarih: Proje planı içerisinde FMEA'nin uyması gereken ilk mihenk tarih yazılır. Prosesin seriye başlayacağı tarihi içerir.

FMEA Orjinal Tarihi: FMEA çalışmasının başladığı tarih yazılır.

Revizyon Tarihi: Herhangi bir değişiklikte FMEA çalışmasının son revizyon yapıldığı tarihi içerir.

Çekirdek Ekip: Ekip üyelerinin ad soyadları ve sorumlulukları yazılır.

Başlık dışında PFMEA formunda bulunan aşamalar aşağıda detaylıca açıklanmıştır.

4. 2.1. Proses FMEA – Fonksiyon/ Gereklilik

Fonksiyon/Gereklilik analizinde aşama aşama ilerlenir. Öncelikle bir proses adımı belirlenerek bu proses adından nelerin beklendiği bu kolona yazılır. Yerine getirilmesi gereken fonksiyon açık ve net bir şekilde tanımlanmalıdır. Sayısal ve ölçülebilir ifadelerle yer verilmelidir. (Örnek: Bu prosesin, ürünün araca takılmasına etkisi olduğu ve takma kuvvetinin max: 40 N luk bir kuvvetle takılması gerektiği). Gereklilik kısmına ise, proses adında ihtiyaç duyulan makine, ekipman, malzeme vb. yazılabilir (Teixeira vd., 2012).

Prosesin fonksiyon kısmının net, açık ve sayısal ifadelerle tanımlanması sonraki adım olan hata türü açısından çok kritiktir. Çünkü prosesin fonksiyonunu yerine getirememesi üzerine oluşturulan hata türleri, FMEA ekibince değerlendirilerek çalışmanın devam ettirilmesi sağlanacaktır. IHS firmasının geliştirmiş olduğu FMEA-Pro8 yazılım formatında Proses numarası ve proses ayrı bir kolon olarak belirtilmiştir. Burada ele alınan prosesin izlenebilirliğini sağlamak adına bir numara ve ad verilerek sonraki aşamaya geçilmelidir. Bu numara ve ad proses akış şemaları, kontrol planları ile eşleşmelidir.

4.2.2. Proses FMEA – Potansiyel Hata Türü

Hata türü, müşterinin belirlemiş olduğu ve istediği fonksiyonun yerine getirilememesidir. Hata türü tanımlanırken Fonksiyon/ Gereklilik kısmından faydalanılmalıdır. Burada belirtilen fonksiyonun sağlanamaması bir hata olarak

ortaya çıkar. Bir hata türü başka bir prosesin kök nedeni olabilir (Ford Motor Company, 2011).

Hata türlerinin oluşması aşağıdaki durumlarda ortaya çıkabilir (Stamatis, 1995).

Asıl fonksiyonun yerine gelmemesi: Mühendislik teknik limitlerinin karşılanmayarak, ürünün çalışmamasıdır.

Zamanla Azalan Fonksiyon: Fonksiyonların bir kısmının yerine getirilmemesi veya zamana bağlı olarak ürünün fonksiyonlarını kaybetmesidir.

Kesintili fonksiyon: Ana fonksiyonların yerine gelmesi fakat çevresel dış etkenlere göre çalışıp çalışmama durumunda değişiklik olmasıdır. Dış etkenlerin durumuna göre fonksiyonda azalma veya fonksiyon kaybı oluşmasıdır. Sıcaklık, basınç, nem vb çevresel faktörlere göre fonksiyonun yerine gelmeme durumudur. Ürünün çalışması bazen sağlanır bazen sağlanamaz ve kesintili bir grafik ortaya çıkar.

Arzu edilmeyen/ istenmeyen fonksiyon: Ürünün kendi içinde veya etkileşimde bulunduğu bileşenler arasında ortaya çıkar. Bileşenlerin tek tek performansları yeterli olabilir fakat sistemle etkileşimleri sonucunda müşteri tarafından beklenmeyen ve istenmeyen bir fonksiyonu harekete geçirebilir

Hata türleri tanımlanırken, Proses FMEA girdileri dikkate alınmalıdır. Proses daha önceki proseslere benzemiyor ve yeni bir proses ise; bu noktada FMEA ekibinin tecrübesi ve yetkinliği önem kazanır. FMEA ekibi, potansiyel hata türlerini oluştururken proses akış diyagramı üzerinden hareket ederek aşağıda belirtilen örnek sorulara cevap bulmaya çalışır;

- Proseste ortaya çıkabilecek potansiyel hatalar neler olabilir?
- Bu üründe neler olursa mühendislik beklentileri karşılanmaz?
- Bir sonraki müşteriye hangi hatalar kaçarsa müşteri şikayeti oluşur?
- Müşteriye ve son kullanıcıya hangi özelliklerde bir ürün kaçarsa bu ürün kabul edilmez?

Proses FMEA çalışmalarında ürünün müşteri, tüm sistem, alt sistem ve bileşenler, yasa ve yönetmeliklere olan etkileri dikkate alınarak FMEA çalışmaları

ilerletilmelidir. Ayrıca hata türü olarak adlandırılan sadece üründe oluşan hata olarak tanımlanmalıdır. Örnek olarak; üründe yırtılma, çizik, kırılma, deformasyon, araca ürünün takılamaması, montaj zorluğu vb. verilebilir.

Ayrıca Proses FMEA çalışmalarında yapılması gereken başlangıç kabulleri bulunmaktadır. İşletme tedarik ettiği malzemeleri hatasız kabul ederek proses FMEA çalışmasına yön vermelidir. Genel uygulama bu şekilde olmaktadır. Fakat tedarik edilen ve bir önceki procesten gelen malzemelerdeki hatalar istatistiki olarak tekrarlanıyor ve bu hatalar ispatlanabiliyorsa PFMEA çalışmasının kök nedenleri içerisinde tedarik edilen malzemelere ait varyasyon belirtilerek bu tanım yapılabilir (AIAG, 2008).

Çalışmanın uygulama kısmında yapılacak olan PFMEA çalışmasında tedarik edilen yani firmaya dışardan gelen malzemeler doğru kabul edilerek ilerlenecektir. Sadece ele alınan firmadaki proses riskleri değerlendirilecektir.

Şekil 5. Proses FMEA Uygulama Formu_Örnek

PFMEA Numarası

Sistem:

Alt sistem:

Çekirdek ekip:

Müşteri:

Bölüm:

Model yılı:

PFMEA Hazırlayan:

PFMEA Anahtar Tarih:

PFMEA Orjinal Tarih:

PFMEA Revizyon Tarihi:

Proses No	Proses	Fonksiyon /Gereklilik	Potansiyel hata türü	Max Sıddet	Hatanın Potansiyel Etkisi	Şiddet Sınıfı	Hatanın kök nedeni /mekaniği	Olasılık	Mevcut proses kontroller (Önleme)	Mevcut proses kontroller (Yakalama)	Yakalama	Tavsiye edilen aksiyonlar	Sorumlu	Hedef Tarih	Açıklama	Aksiyon sonrası			
																Şiddet	Olasılık	Yakalama	% Risk azaltma

Kaynak: IHS-Pro 8 FMEA Lisansı

4.2.3. Proses FMEA – Hatanın Potansiyel Etkisi

Hatanın potansiyel etkisi; prosesin, proses gerekliliklerinin ve fonksiyonun yerine gelmemesi ile müşteri üzerinde oluşan algı ve etkidir. Hatanın müşteriye yansımaları olarak müşterinin hissettiği huzursuzluktur. FMEA çalışmalarında potansiyel hata oluştuğunda müşteri üzerinde nasıl bir etki yaratacağı belirlenmelidir (Korenko vd., 2012).

Proses FMEA için müşteri, ilerleyen ve devam eden prosese ait iç müşteri, montaj söz konusu ise montaj müşterisi ve ürünün ulaştığı son kullanıcı müşteri kategorisinde değerlendirilmelidir. Her hata türünün etkisi tüm müşteriler açısından değerlendirilmelidir. Hata etkisi müşterilerin karşılaşabileceği ürün performansı açısından tanımlanmalıdır (AIAG, 2008).

Bir hata oluşmuş ve FMEA ekibi tarafından değerlendirilmiş ise mutlaka son kullanıcıya kadar olan etki düşünülmelidir. FMEA çalışmalarında genellikle yanlış yapılan noktalardan bir tanesi hata mutlaka proseste yakalanır ve müşteriye /son kullanıcıya gitmez algısıdır. Bu metodolojik olarak yanlıştır. Hata oluştu ve tüm filtrelerden kaçarak müşteriye kadar ulaştı farzedilir.

Hatanın etkileri incelenirken ürünün bileşenleri ve diğer sistem parçaları ile etkileşimleri dikkate alınmalıdır. Ayrıca ürünün iş güvenliği ve işçi sağlığını riske sokacak herhangi bir etkisi, yasalara ve yönetmeliklere uymayan bir etkisi varsa mutlaka potansiyel hata etkilerinde tanımlanmalıdır.

Hatanın etkisi tespit edilmeye çalışılırken; hata türünün aşağıda belirtilen vb. sorulara cevap vermesi gerekir.

- Bu prosesten çıkan bu hata bir sonraki proseste neler oluşturur? Red/ hurda, işçilik kaybı vb.
- Ürün bu hata ile müşterinin hangi beklentisini yerine getiremez?
- Üründeki bu hata türü iş güvenliği işçi sağlığı, yasalara aykırılık oluşturuyor mu?
- Ürün son/nihai müşteriye kadar ulaştığında müşteri neler yaşayacak ve neler hissedecektir?

Son/nihai kullanıcı için hatalar daima ürün veya tüm sistem performansı açısından değerlendirilmelidir. Sızdırmazlık problemi, hoş olmayan koku, ses - gürültü, titreşim, görünüm uygunsuzluğu vb. hatalar son kullanıcıyı etkileyen hata türleridir. Eğer bir sonraki prosesin müşterisi değerlendiriliyor ise ürünün hurda olması, iş güvenliğine olumsuz etki, ürünün red edilmesi, üründe oluşan hatanın yeniden düzeltilmesi, ayıklanması, üretimin durması vb gibi etkiler tanımlanabilir.

4.2.4. Proses FMEA – Şiddet

Şiddet, potansiyel hata türünün müşteriye olan etkisinin ve ciddiyetinin (önem ve tehlikesinin) değerlendirilmesidir. Sadece etkiye bağlı olarak değerlendirilir. FMEA ekibi, Tablo 8’de verilen Proses FMEA Şiddet Değerlendirme Kriterleri Tablosu’nu kullanarak, hata türlerine ait şiddet puanını verir. Hatanın şiddet değerlendirmesinde müşteri üzerindeki etkisi dikkate alındığından, bir hatanın bütün potansiyel kök nedenlerine aynı şiddet değeri verilmelidir. Şiddet değeri sadece tasarımda yapılan bir iyileştirme ile değiştirilebilir. Prosesle ait önleyici veya yakalayıcı kontrollerden etkilenmez (Belu vd., 2012).

Şiddet kolonuna en kötü senaryo dikkate alınarak müşteriye olan etkinin puanlaması yapılır. Her bir hata türü için yalnızca tek bir şiddet değeri olmalıdır. Şekil 5. Proses FMEA Uygulama formundaki formatta maksimum şiddet kolonuna; tüm müşterilere olan etkilerin değerlendirilmesi yapıldıktan sonra en yüksek puan alınarak yazılır. Müşteriler iç ve dış müşteri olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca yasal yükümlülükler de etkiler içerisinde değerlendirilmelidir.

Tablo 8. Proses FMEA Şiddet Değerlendirme Kriterleri

Etki	Kriter: Ürüne Etki Şiddeti (Müşteri Etkisi)	Derece	Etki	Kriter: Proses Etki Şiddeti (Üretim /Montaj Etkisi)
Emniyet ve /veya yasal gereklilikleri karşılamaması ¹	Potansiyel Hata modunun herhangi bir ikaz vermeden , Kullanıcı emniyetini etkilemesi veya yasal yükümlülükleri ihlal etmesi	10	Emniyet ve /veya yasal gereklilikleri karşılamaması	Herhangi bir ikaz vermeden , makine veya montaj operatörünü tehlikeye sokması
	Potansiyel Hata modunun ikazlı olarak ,kullanıcı emniyetini etkilemesi veya yasal yükümlülükleri ihlal etmesi	9		İkazlı olarak , makine veya montaj operatörünü tehlikeye sokması
Ana fonksiyonlarda kayıp veya azalma	Ana fonksiyon kaybı (araç çalışmaz ancak emniyeti etkilemez)	8	Majör Karışıklık	Ürünün %100 ünün hurda olması. Hattın veya sevkiyatın durması.
	Ana fonksiyon azalması (araç düşük performans ile çalışır)	7	Önemli Karışıklık	Ürünün bir kısmı hurda olursa. Hat hızının düşmesi veya ilave personel eklenmesini kapsayan ana prosesden sapma durumu.
İkincil fonksiyonlarda kayıp veya azalma	İkincil fonksiyon kaybı (araç çalışır ancak konfor ve uygunluk fonksiyonları çalışmaz)	6	Orta derecede karışıklık	Ürünün %100'ü hat dışında yeniden işlem görmesi ve tekrar kabulünün yapılması.

Tablo 8. Devam. Proses FMEA Şiddet Değerlendirme Kriterleri

Etki	Kriter: Ürüne Etki Şiddeti (Müşteri Etkisi)	Derecesi	Etki	Kriter: Proses Etki Şiddeti (Üretim /Montaj Etkisi)
İkincil fonksiyonlarda kayıp veya azalma	Tali fonksiyon azalması(araç çalışır ancak konfor ve uygunluk fonksiyonları düşük performansla çalışır)	5		Ürünün bir kısmının hat dışında yeniden işlem görmesi ve tekrar kabulünün yapılması..
Hoşnutsuzluk	Araç çalışır ancak, müşterilerin çoğunluğu (>%75) tarafından farkedilen görünüm veya duyulabilir gürültü uygunsuzluğu vardır.	4	Orta derecede karışıklık	Ürünün %100'ünün işlemden önce istasyonda yeniden işlem görmesi.
	Araç çalışır ancak, birçok müşterileri (%50) tarafından farkedilen görünüm veya duyulabilir gürültü uygunsuzluğu vardır.	3		Ürünün bir kısmının işlemden önce istasyonda yeniden işlem görmesi.
	Araç çalışır ancak, seçici müşteriler (<%25) tarafından farkedilen görünüm veya duyulabilir gürültü uygunsuzluğu vardır.	2	Minör Karışıklık	Proses, operasyon veya operatörde küçük uygunsuzluk.
Etkisi yok	Kayda değer bir etkisi yoktur	1	Etkisi yok	Kayda değer bir etkisi yoktur

(Kaynak : AIAG, FMEA 2008)

4.2.5. Proses FMEA – Hatanın Kök Nedeni / Mekanığı

Hatanın potansiyel kök nedenleri, ölçülebilecek şekilde tanımlanmalıdır. Her bir hata türüne neden olabilecek bütün potansiyel kök nedenler belirtilmelidir. Kök nedenler kısa, teknik ve sade ifadelerle yazılmalıdır. Kök nedenler hataları oluşturur, hatalar da müşteriye olan etkileri ortaya çıkarır (Gilchrist, 1993).

Kök nedenler belirlenirken problem çözme tekniklerinden faydalanılır. Balık kılıcı metodolojisine göre problemin kök nedenleri insan, malzeme, makine, metod, çevre faktörleri dikkate alınarak ortaya çıkarılır. Bu faktörler kullanıldığında probleme ait kök nedenlerin tamamına yönelik çalışmalar ortaya çıkarılmış olur. Kök nedenler için geçmiş FMEA çalışmaları da kullanılabilir.

Proses FMEA içerisinde, değerlendirilen prosese gelen ürün ve malzemeler hatasız kabul edilir. Bir önceki procesten gelen parçalara ait riskler o proses adımında değerlendirilmiş olmalıdır. Sadece bir önceki procesten kaynaklanan kök nedenler tanımlanabilir. Bu durumda kök neden kolonuna bir önceki proses hataları yazılabilir. Kök nedenlere örnek olarak; uygun olmayan proses parametreleri, kalıp aşınması, sıcaklığın yüksek olması / düşük olması, uygun olmayan parça yerleştirme, yetersiz temizlik vb. verilebilir.

4.2.6. Proses FMEA – Görülme Sıklığı –Olasılık

Hatanın kök nedeni ve hatanın birlikte ortaya çıkma olasılığıdır. FMEA ekibi, Tablo 9’da verilen Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Kriterleri Tablosu’nu kullanarak, hata türlerinin ve kök nedenlerin olasılık puanını belirler. Mutlaka hatanın oluşmuş olmasına gerek yoktur. Potansiyel olarak ortaya çıkma riski bulunan tüm kök nedenler ve hatalar değerlendirilir. Bu değerlendirmeyi yaparken istatistikî verilerden faydalanılır. Prosesle ilgili müşteri şikayetleri, iç redler, fire oranları vb gibi ölçülebilir veriler kullanılarak olasılık değeri belirlenmeli ve tablo ile eşleştirilmelidir (Stamatis, 2003).

Yeni bir proses ve herhangi bir veri bulunmuyor ise benzer proseslere ait verilerden faydalanılarak olasılık değerlendirmesi yapılabilir. Otomotiv sektöründe edinilmiş tecrübeler bu konuda başvurulacak kaynaklar arasında yer alır.

Tablo 9. Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Kriterleri

Hata Olasılığı	Kriter: Sebebin oluşma ihtimali-PFMEA (Parça / araçta hatalar)	Derecesi
Çok Yüksek	$\geq 100 / 1000$ $\geq 1 / 10$	10
Yüksek	50 / 1000 1 / 20	9
	20 / 1000 1 / 50	8
	10 / 1000 1 / 100	7
Orta	2 / 1000 1 / 500	6
	0,5 / 1000 1 / 2,000	5
	0,1 / 1000 1 / 10,000	4
Düşük	0,01 / 1000 1 / 100,000	3
	$\leq 0,001 / 1000$ $\leq 1 / 1,000,000$	2
Çok Düşük	Önlemeye yönelik kontrollerle hata elimine edilmiş	1

(Kaynak : AIAG, FMEA 2008)

4.2.7. Proses FMEA – Mevcut Proses Kontrolleri

Proses kontrolleri; ürüne yönelik hataların müşteriye kaçmaması için yapılan kontrolleri içerir. Hem firma hem de müşterinin zarara uğramaması için FMEA sırasında tespit edilen veya önceki projelerden hareketle ortaya çıkan kontrollerdir. Mevcut proses kontrolleri; poka-yoke (hata önleme) sistemleri, SPC (İstatistiksel Proses Kontrol), üretildiği proseste veya sonraki operasyonlarda yapılan manuel veya otomatik kontrolleri içerir. Üretim hücresi içinde fakat sonraki proseslerde yapılan kontrollerde buraya dahil edilir. Fakat ona göre tablolardan değerlendirme puanı verilir. Bu durum da yakalanabilirlik puanı hatanın çıktığı proses adımına göre daha yüksek olacaktır. Hatanın kendisi ve/veya kök nedenini önlemeye–yakalamaya yönelik kontroller bu kolon da listelenmelidir (Taşan, 2006).

“Mevcut Proses Kontrolleri” sütünü ikiye ayrılmış durumdadır. Önleyici ve yakalayıcı kontrollerdir. Burada planlanan kontroller değil mevcut ve proseste var olan kontroller belirtilmelidir. Eğer yeni ve farklı bir kontrol uygulancaksa bu “Tavsiye edilen aksiyonlar” kolonunda bir aksiyon olarak yazılmalıdır. Mevcut Proses kontrolleri iki farklı şekilde yönetilmektedir.

Önleyici kontroller: Hata kök nedenin veya hata türünün ortaya çıkmasını engelleyen veya olasılığını azaltan kontrollerdir. Proseste önleyici bir kontrol varsa yakalama puanından önce hatanın oluşma olasılığını etkileyecektir. Dolayısı ile proses içinde tespit edilen önleyici kontrol sonrası, FMEA ekibi değerlendirmeyi yaparken Olasılık puanını tekrar gözden geçirmelidir.

Yakalayıcı kontroller: Hata oluştuğundan sonra herhangi bir sistemle veya uygulama ile hatayı/kök nedeni yakalayarak bir sonraki proseste kaçmasına izin vermeyen kontrolleri içerir (SAE, 2009).

FMEA çalışmalarında öncelikli olarak istenilen yaklaşım; önleyici kontrollerin uygulanmasıdır. Olasılık puanı da önleyici kontrollerden etkilenecektir. Proses kontrollerinin belirlenmesi için referans olarak; geçmiş FMEA çalışmaları, benzer proseslere ait kontrol planları, daha önceki problem çözme analizleri kullanılabilir.

Kullanılan kontrol yöntemleri hata türleri ve kök nedenleri ortadan kaldırmak veya azaltmak için tanımlanmalıdır. Bu durum aynı zamanda kök nedenin oluşma olasılığını da etkileyecektir. Önleyici bir kontrol tanımlanmış ise tekrar olasılık puanlandırmasına geri dönülerek bu durum dikkate alınmalıdır. Proses kontrol metodları arasında; seri üretime geçiş kontrolleri, laboratuvar testleri, manuel ve görsel kontroller, proses içi ve sonrası ölçümler, otomatik kontroller, görsel/işitsel uyarı alarm sistemleri, istatistiksel proses kontrol ve hata önleme teknikleri (poka-yoke) yer alabilir (Stamatis, 1995).

Standart FMEA formlarının dışında, müşterilerin önerdiği ve beklediği form yapısında “Mevcut Proses Kontrolleri”; önleyici ve yakalayıcı olarak iki kolona ayrılabilir. Eğer kolon ikiye ayrılmamış ise; aynı kolona yazılan kontrollerin sonuna Önleyici (Ö) ve yakalayıcı (Y) gibi kısaltmalar konularak iki kontrol birbirinden ayrı şekilde belirtilmelidir.

Bir hata türü ve kök nedeni yakalamak için birden fazla kontrol tanımlanabilir. Bu durumda yakalama puanını verirken her kontrol puanlanmalı ve en düşük yakalanabilirlik puanı dikkate alınmalıdır. Çünkü riskin yakalanmasını sağlamak, yakalanabilirlik puanı düşükten yükseğe çıktıkça zorlaşır. Prosesin en iyi yakalama puanı dikkate alınarak prosesin kabiliyeti ortaya çıkarılmalıdır.

4.2.8. Proses FMEA – Yakalanabilirlik

Yakalanabilirlik, proseste mevcut kontrolleri kullanarak potansiyel hataların müşteriye kaçmasını engelleme kabiliyetidir. Hata gerçekleşmiş gibi değerlendirilerek hatanın müşteriye kaçmadan önce mevcut proses kontrolleri ile yakalanmasıdır. FMEA ekibi, Tablo 10’da verilen Proses FMEA Yakalama Değerlendirme Kriterleri Tablosu’nu kullanarak, hata türlerinin yakalanma puanlarını belirler. Yakalanabilirlik puanlandırması yapılırken, hata türü veya bu hata türünün kök nedenini yakalamak için kullanılacak olan kontroller dikkate alınır. Önleyici ve yakalayıcı kontrolleri göz önünde bulundurarak yakalama puanı verilir. Yakalamanın puanlaması; kontrollerin otomatik yapılması, manuel yapılması, alarm ve kontrol sistemlerinin bulunmasına bağlı olarak değişir. Potansiyel hata türü ve kök nedenleri ortadan

kaldırmaya veya azaltmaya yönelik olan kontroller ise; olasılık puanlandırması yapılırken tekrar değerlendirilmelidir (Ford Motor Company, 2011).

Yakalanabilirlik FMEA çalışmalarında en son tercih olarak kullanılmaktadır. Çünkü; yakalama kabiliyetini artırmak için fazladan kontroller eklenmelidir. Bu kontroller maliyetlidir. Ayrıca değer oluşturan faaliyetler değildir. Kontroller sadece geçici bir önlem olarak düşünülebilir. Ama yine de prosesi güvenilir kılmak için üretim aşamalarında kontroller bulunmalıdır. Çünkü proseslerden belirli bir olasılıkla hata kaçabilir. Bunu yakalamak ve müşteriye hatalı parçanın gitmesini engellemek için kontroller maliyetli de olsa işletmeler tarafından tercih edilir.



Tablo 10. Proses FMEA Yakalama Değerlendirme Kriterleri

Yakalama Fırsatı	Kriter: Proses Kontrollerle Yakalama İhtimali	Derecesi	Yakalama İhtimal derecesi
Yakalama İhtimali yok	Proseste kontrol yok; yakalanamaz veya analiz edilmez	10	Hemen Hemen İmkansız
Herhangibir aşamada yakalanması zor	Hata modu ve/veya hata sebebi kolaylıkla yakalanamaz (rastgele denetimler vb)	9	Çok Zor
Problemin yakalanması prosesten sonra	Operatörün hata modunu prosesten sonra göz kontrolü /yoklama/ ses vb vasıtasıyla yakalaması	8	Zor
Problemin yakalanması kaynağında	Operatörün hata modunu istasyonda göz kontrolü /yoklama/ ses vb vasıtasıyla veya prosesten sonra niceliksel ölçü aletleriyle (geçer geçmez master , el tork kontrolü, alyen anahtarı vb ile) yakalaması	7	Çok Düşük
Problemin yakalanması prosesten sonra	Hata modunun operatör tarafından prosesten sonra ölçü aletleriyle veya istasyonda niceliksel ölçü aletleriyle (geçer geçmez master , el tork kontrolü, alyen anahtarı vb ile) yakalaması	6	Düşük
Problemin yakalanması kaynağında	Operatörün hata modunu istasyonda ölçü aletleriyle (mikrometre, vb gibi) veya istasyonda hatalı parçayı yakalayarak operatörü sesli / ışıklı vb şekilde uyaran otomatik kontrol ile yakalaması. Ölçü aletleriyle İlk ayar ve ilk parça ölçüsel kontrolü (sadece ayar maksatlı) yapılır.	5	Orta
Problemin yakalanması prosesten sonra	Hata modu prosesten sonra hatalı parçayı yakalayarak bir sonraki prosese gönderilmesine engel olan otomatik kontrollerle yakalanır	4	Orta derecede yüksek
Problemin yakalanması kaynağında	Hata modu yakalanması ,istasyonda hatalı parçayı yakalayarak istasyonda kitleyip , hatalı parçanın daha sonra işlem görmesini engelleyen otomatik sistemle yapılır.	3	Yüksek

(Kaynak: AIAG, FMEA 2008)

Tablo 10. Devam. Proses FMEA Yakalama Değerlendirme Kriterleri

Yakalama Fırsatı	Kriter: Proses Kontrollerle Yakalama İhtimali	Derecesi	Yakalama İhtimal derecesi
Hata yakalayıcı ve/veya problem önleyici	Hatanın sebebi istasyonda otomatik kontrollerle yakalanarak hatalı parçanın üretilmesine engel olunur.	2	Çok Yüksek
Hata önlendiği için yakalama uygulanamaz	Hata sebebi, fiyktür, kalıp veya makine tasarımı nedeniyle engellenmiştir. Proses/ürün tasarımı hata geçirmez olduğu için hatalı parça üretilemez,	1	Hemen Hemen Kesin

(Kaynak: AIAG, FMEA 2008)

4.2.9. Proses FMEA – Risk Öncelik Puanı

Hataların şiddeti (S), ortaya çıkma olasılığı (O), prosesin yakalama kabiliyeti (D) çarpılarak bir Risk Öncelik Puanı (RPN) elde edilir. Hesaplanan Risk Öncelik Puanına (Risk Priority Number –RPN: $S \times O \times D$) göre iyileştirme alanları saptanır ve öncelikli faaliyet alanları belirlenir (Geum vd., 2011).

RPN değeri hata türlerinin göreceli olarak önemini gösterir. FMEA sonucunda elde edilen RPN değerlerinin Pareto Analizi ile hangi hata türleri ve bunlara bağlı hangi risklerin daha önemli olduğu belirlenebilir. Sonrasında en yüksek RPN değerine sahip hata türleri için düzeltici/önleyici aksiyonlar önerilmelidir. Bu aksiyonların amacı; şiddet, olasılık ve yakalanabilirlik değerlerinden bir veya birkaçını düşürmektir.

Şiddet değerini düşürmek hatalı parçanın müşteriye etkisine müdahale etmektir. Şiddet değerini düşürmek sadece dizayn ile mümkün olacaktır. Dizayn da yapılacak bir değişiklik ile müşteriye etki azaltılabilir. Önleyici veya yakalayıcı kontrollerin varlığı şiddet değerini etkilemeyecektir. Görülme sıklığı–Olasılık düşürülmesi ise hata türünün oluşmasının azaltılmasıdır. Hata ve kök neden oluştuğundan

sonra ise yapılan kontrollerle yakalanabilirlik puanı düşürülebilir (AIAG, FMEA, 2008).

Otomotiv sektöründe ana sanayilerin RPN değerlendirme kriterleri müşteri özel istekleri dökümanlarında ayrıca tanımlanmıştır. Ana sanayiler arası farklılıklar göstermektedir. RPN değerlerine göre veya Şiddet değerlerine göre aksiyon ihtiyaçları oluşmaktadır. OEM'lerin bu istekleri kendi internet siteleri veya özel dökümanlarında yer almaktadır.

VDA ile çalışan otomotiv üreticileri BMW, Audi, VW, Mercedes, Daimler RPN değeri hesaplamasında şiddet ve olasılık değerlerini dikkate alarak yakalamanın FMEA çalışmalarında son sırada olduğunu belirtmektedir (VDA 4, 2012).

Şekil 6. Şiddet ve Olasılık Değerlendirme Matrisi

Olasılık	10	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	9	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	8	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	7	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	6	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	5	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	4	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
	3	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
	2	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
	1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Şiddet									

(Kaynak: VDA 4, 2012)

Şiddet ve Olasılık değerleri karşılıklı olarak değerlendirildiğinde, risk önceliği Şekil 6'ya göre (VDA-4, 2012)

- 1- Yeşil bölgede ise : Aksiyon almaya gerek yoktur
- 2- Sarı bölgede ise : Mevcut yöntemlerde iyileştirme yapılarak önlem alınarak risk düşürülmeye çalışılmalı. Aksiyon almak zorunluluk değildir
- 3- Kırmızı bölgede ise : Aksiyon almak zorunludur.

Fiat Otomotiv üreticisi için ise risklerde önceliklendirme yapma ve aksiyon alma zorunluluğu, Tablo 11’de belirtilmiştir.

Tablo 11. Fiat Risk Öncelik Değerlendirmesi

Şiddet	RPN
9-10	≥ 40
7-8	≥ 100
4-6	≥ 120
1-3	≥ 150

Kaynak: Fiat Norms, 00270, 2012)

Fiat firması için RPN değerleri şiddet değeri ile birlikte dikkate alınarak riskler önceliklendirilir. Yukardaki kriterler hatanın RPN ve şiddet değerine bağlı olarak aksiyon alınma yükümlülüğünü belirtmiştir. Yansanayi firmalarının proseslerine ait oluşturulan PFMEA çalışması için bu kriterler müşteri bazında dikkate alınmalıdır. IATF 16949: 2016 Otomotiv Sektörü Kalite Yönetim Sistem Standardına göre müşteri isteklerinin yerine getirilmesi gereklidir. Aksi halde yapılacak müşteri veya 3. Taraf denetimlerde uygunsuzluk olarak firmalara geri dönüş sağlanır.

General Motors (GM) otomotiv üreticisinin risk önceliklendirme kriteri ise; aşağıdaki şartlar gerçekleştiğinde FMEA çalışmalarında o hata türü için aksiyon belirlenir (General Motors Company, 2015).

- RPN: 0-40 ise aksiyon alınmayabilir.
- RPN: 40-100 ise iyileştirme yapılabilir fakat zorunluluk yoktur.
- RPN: 100 ise aksiyon zorunludur.

Renault otomotiv üreticisinin risk önceliklendirme kriteri; Tablo 12’de belirtilmiştir. Şiddet ve RPN değerleri birlikte değerlendirilerek aşağıdaki kriterleri sağladığında mutlaka aksiyon alınması gereklidir.

Tablo 12. Renault Risk Öncelik Değerlendirmesi

Şiddet	RPN
9-10	>36
5-8	>50
1-4	>100

(Kaynak: Renault Standart, 2011)

4.2.10. Proses FMEA – Tavsiye edilen Aksiyon ve Önlemler

Tavsiye edilen aksiyonların RPN değerini önce şiddet, sonra olasılık ve yakalanabilirlik sırası ile düşürmesi hedeflenir. Burada ki amaç riskin minimize edilmesi ve aynı zamanda prosesin de geliştirilerek müşteri memnuniyetinin artırılmasıdır. Bu; potansiyel hata türlerini ortadan kaldıracak veya azaltacak önleyici aksiyonların belirlenmesi olabileceği gibi, prostedeki zayıflığın ortaya çıkarılmasına yardımcı olacak yakalayıcı kontrollerin belirlenmesi şeklinde de olabilir (Stamatis, 2003).

Tavsiye edilen aksiyonlar arasında; yeni makine alımı, yeni ekipman tasarlanması, hata önleme tekniklerini içeren poka-yoke sistemler, proste yapılan kontrollerin kapsamının genişletilmesi ve kabul kriterlerinin değiştirilmesi, yeni test ve ölçüm aletlerinin devreye alınması, işitsel/görsel alarm uyarı sistemlerin entegre edilmesi sayılabilir.

Eğer aksiyonlar, yüksek bir maliyet ve/veya uzun bir devreye alma zamanı gerektiriyorsa, birkaç alternatif önerilerek aralarından en uygun olanı belirlenmelidir. FMEA ekibi herhangi bir faaliyet öneremiyor ise; “Tavsiye Edilen Aksiyonlar” kolonuna “Öngörülmedi” yazılmalıdır. Her bir faaliyet için sorumlu kişi veya bölüm ve hedef tarih mutlaka belirlenmelidir. Aksiyon tamamlandıktan sonra ilgili tarih form üzerine işlenmelidir. İlgili tüm aksiyonların izlenmesi FMEA ekip lideri tarafından yürütülür. Bu aksiyonlar tamamlandıktan sonra veya aksiyon sorumlusundan ileriye dönük olarak alınan öngörüler doğrultusunda; şiddet, olasılık ve yakalanabilirlik puanları tekrar belirlenir ve yeni RPN değerleri hesaplanır.

En son belirlenen RPN değerleri ilgili hata türünün nihai risk değerlendirmesidir (Ford Motor Company, 2011).

4.3. Proses FMEA'nin Çıktıları

Proses FMEA'nin çıktıları arasında; risklere göre önceliklendirilmiş potansiyel hata türleri, kök sebepleri ve etkileri, teknik resim ve ilgili dökümanlarda revizyon ihtiyacı, özel karakteristik listeleri, proses bilgileri, üretim makine/ekipman/fikstür ihtiyaçları, proses içi kontroller, prosesin geliştirilmesi ile ilgili olası düzeltici/önleyici aksiyonların listesi ve kontrol planları sayılabilir. Ayrıca Proses FMEA; çalışma talimatlarına da anlamlı girdiler sağlar (Belu vd., 2012).

Proses FMEA çalışmaları tamamlandıktan sonra yapılanların uygunluğunu kontrol etmek için standart bir kontrol listesinin kullanılması tavsiye edilir. Bu amaçla kullanılabilecek olan standart kontrol listesi örneği olarak Tablo 13. Proses FMEA Kontrol Listesi verilmiştir (AIAG, APQP 2008).

Kontrol listeleri otomotiv sektöründe müşteriler arası farklılık gösterebilmektedir. Alman grubu içerisinde kullanılan VDA için 56 sorudan oluşan bir kontrol listesi kullanılmaktadır. BMW, VW, Daimler, Mercedes, Audi firmaları tedarikçilerinden FMEA çalışmaları sonunda bu kontrol listesini talep etmektedir.

Ford müşterisi Healt Check adını verdiği kontrol listesini kullanmakta ve tedarikçilerinden FMEA sonrası bu kontrol listesini doldurmalarını talep etmektedir. Tedarikçilerin bu kontrol listesi puanlamasından 100 üzerinden minimum 75 puan almış olması beklenilir (www.lfmea.com).

Tablo 13. Proses FMEA Kontrol Listesi

	Soru	Evet	Hayır	Uygulama yok	Gerekli Aksiyon	Sorumlu	Hedef Tarih
1	Proses FMEA çapraz fonksiyonlu ekip tarafından hazırlandı mı? Ekip mevcut FMEA teknikleri ile beraber, müşteriye ait özel istekleri dikkate aldı mı ?						
2	Taşeron veya dış kaynaklı süreç ve hizmetlerdeki tüm işlemler dikkate alınmış mıdır?						
3	Müşteri gereksinimlerini etkileyen bütün işlemler (fonksiyon, dayanıklılık, yasal yükümlülükler ve güvenlik) tanımlandı ve listelendi mi?						
4	Benzer parçaların ve proseslerin FMEA'ları gözönünde bulunduruldu mu?						
5	Geçmiş deneyimler ve garanti verileri gözden geçirilerek analiz edildi mi?						
6	Hata türlerinin tümünü ele almak için uygun kontroller yapıldı mı ?						

(Kaynak: AIAG, APQP 2008)

Tablo 13. Devam. Proses FMEA Kontrol Listesi

	Soru	Evet	Hayır	Uygulama yok	Gerekli Aksiyon	Sorumlu	Hedef Tarih
7	Aksiyon planı tamamlandığında şiddet/olasılık ve yakalanabilirlik değerleri revize edildi mi ?						
8	Etkiler, takip eden operasyon, montaj ve ürün müşterilerini gözönünde bulunduruyor mu?						
9	Proses FMEA geliştirilirken müşteri fabrikasındaki problemler dikkate alındı mı?						
10	Hata sebepleri, düzeltilebilecek veya kontrol edilebilecek şekilde tanımlandı mı?						
11	Hata sebebini kontrol etmek için hazırlık yapıldı mı ?						

Revizyon
Tarihi _____

5. UYGULAMA

5.1. FİRMA ve PROSES Tanıtımı

XYZ firması otomotiv sektöründe faaliyet gösteren ve sızdırmazlık elemanları üreten bir yan sanayi kuruluşudur. Ana sanayi olarak adlandırılan OEM'lere sızdırmazlık ürünleri üretmektedir. Dünya'nın ve Türkiye'nin çeşitli yerlerinde üretim lokasyonları bulunmaktadır. Toplam 8000 çalışanı bulunan firma, sektörü içerisinde lider tedarikçi olmayı hedeflemektedir.

XYZ firmasının müşterileri arasında VW, Audi, BMW, Mercedes, Ford, Renault, Fiat, Tofaş, Nissan, Toyota, Hyundai gibi büyük otomotiv üreticileri yer almaktadır. Sızdırmazlık elemanları araç üretiminde kilit bir parça olarak tanımlanmaktadır. Aracın fonksiyonel, konfor ve görsel rahatlığı açısından sızdırmazlık ürünlerinin kalitesi çok önemlidir. Bu kalite seviyesini yakalamak ve devam ettirmek yan sanayiler için oldukça zordur. Firmalar pazarda tutunabilmek ve otomotiv ana sanayi müşterilerini kaybetmemek için üst düzey kalite faaliyetlerini yürütmektedirler.

Sızdırmazlık ürünlerini üretebilmek için öncelikli olarak kauçuk hammaddelerin belirli formüllerle proseste işlenmesi ve kauçuk karışımı haline getirilmesi gereklidir. Sonrasında bu karışım ekstrüzyon proseslerinde kalıplama ve vulkanizasyon tekniği ile yarımamul haline getirilmektedir. Üretilen yarı mamuller son işlemleri için finisyon adı verilen proseslerde müşteriye sevk edilebilecek hale getirilir.

Sızdırmazlık ekipmanlarının sızdırmazlık sağlaması ve parçanın kasa ile etkileşiminde oluşabilecek enerjinin minimize edilmesi nedenleri ile ürün yüzeyinde kaplama bulunmaktadır. Hem ekstrüzyon hemde finisyon proseslerinde kullanılan bu kimyasal kaplama karışımın hazırlanması ciddi ve kritik bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Müşterilerin ürünlerdeki istekleri ve sızdırmazlık ekipmanın kullanıldığı yere göre kaplama türü değişkenlik göstermektedir. Türleri arasında Silikon, Resilon, Permutex vb. bulunmaktadır.

Bu kimyasal karışımları ayrı ayrı elde etmek için 5 adet bileşen belirli bir formülle karıştırılmaktadır. Karıştırma işlemi karışım hazırlama odasında yapılmaktadır. Karışım hazırlandıktan sonra ekstrüzyon ve finisyon proseslerine tedariki sağlanarak online-offline şekilde ürünlerin yüzeyine tabancalar vasıtasıyla püskürtülmektedir. Ekstrüzyon prosesinde online olarak, finisyon prosesin de offline olarak uygulanmaktadır.

Ürün yüzeyinde kaplamanın tutunması, kazınmaması ve müşteri speklerine uygun kalınlık oluşturması için karışım hazırlamanın tanımlanmış reçetelere uygun şekilde hatasız üretilmesi gereklidir. Hataların öncesinden ön görülerek risklerin minimize edilmesi ve ortadan kaldırılması prosesin önemi açısından kritik ve değerlidir. Bu süreçte potansiyel risklerin belirlenerek, bu risklere karşı optimum çözümler sunulmasına ihtiyaç vardır.

FMEA çalışmalarını sağlayabilmek için öncelikli olarak proses akışlarının belirlenmiş ve çok iyi biliniyor olması gereklidir. FMEA ekibi ile birlikte proseste gözlemler yapılarak ve tecrübeli çalışanlardan alınan bilgiler sonrasında aşağıda proses akışı ve prosesin aşamaları açıklanmıştır.

5.2. Proses Akışı

Örnek bir malzeme hazırlama prosesine ait akış ;

X-----Silikon

Y ----Solvent

Z-----Silikon karışımında bağlayıcı olarak kullanılıyor.

A---- Silikon karışımında silikonun polimer yüzeyine bağlanmasını sağlar.

B --- Silikon karışımında katalizör görevi yapar. Vulkanizasyon reaksiyonunun başlamasını sağlayan kimyasal

Karışım sırası : Malzemeler yukarıda belirttikleri sıraya göre eklenerek karıştırılmalıdır. Tüm karışım malzemeleri max. 30°C'de muhafaza edilmelidir. Hazırlanmış karışımın muhafaza edilmesi için ise ortam sıcaklığı min. 15 °C ve maximum 30 °C arasında olmalıdır.

5.2.1. Karışımın Hazırlanması

Karışımın hazırlanma aşamaları aşağıdaki şekilde yapılmaktadır. Çalışmada örnek teşkil edecek bir malzeme seçilmiştir. Silikon kaplama olarak adlandırılan karışımın hazırlanma aşamaları için;

- Karışım hazırlama odasının havalandırması açılır.
- X, karışım hazırlanmadan önce, karıştırıcıda minimum 1 saat mutlaka karıştırılmalıdır. Bunun amacı, ambalajın dibine çökmüş olan malzemenin homojen olarak dağıtılmasıdır.
- Kaç litre silikon karışımına ihtiyaç olduğu tespit edildikten sonra, silikon hazırlama reçetesine göre kullanılacak malzemelerin miktarları belirlenir. Belirtilen tüm miktarlar mililitre cinsindedir.
- Karışımın bütün safhalarında dikkat edilecek önemli bir parametre köpük oluşmamasıdır. Tüm ölçüm kapları ve karışım hazırlama kabı sürekli temiz olmalıdır. Silikon karışım malzemeleri yukarıda verilen sıra ile birbirine katılır. Sadece Y ve X karıştırma sırası değişebilir. Gerekli malzemeler uygun cam kaplar vasıtasıyla hazırlama kabına sırayla konular ve karıştırma esnasında aşağıdaki maddeler uygulanır.
 - Önceden karıştırılmış X karışımın hazırlanacağı kaba silikon formülündeki miktar kadar ölçülüp aktarılır. Bu ölçüm işlemi manuel ve hassas terazi vasıtasıyla operatörler tarafından sağlanır.
 - Karışım kabına aktarılmış olan silikonun üzerine, formüldeki miktar kadar ölçülmüş Y yavaş yavaş ilave edilerek bu sırada sürekli karıştırılır. Y bir anda dökülmez, çünkü bu durumda karışımın homojen hale getirilmesi zorlaşır. Y malzemesine ait varil açılırken rahat akması için havalandırma musluğu da açılır.
 - Bundan sonra formüldeki miktar kadar ölçülmüş, Z malzemesi 1-2 dk süresince karıştırılarak karışıma ilave edilir.
 - Formüldeki miktar kadar ölçülmüş A yavaş yavaş ve sürekli karıştırılarak karışıma katılır ve homojen biçimde karışmasına özen gösterilir.

- Son olarak karışıma, formüldeki miktar kadar ölçülmüş B katalizör yavaş yavaş ve sürekli karıştırılarak karışıma katılır.
- Tüm malzemeler ilave edildikten sonra karışımın homojen ve köpürtülmeden 30-100 devir/dk hızla karışması sağlanır. Tüm karışımın minimum 2 saat karışması sağlanır.
- Karışım kullanıma verilmeden önce izlenebilirliği sağlamak adına bir lot numarası verilir. Lot numarası, günün tarihi ve kaplama üretiminden 16 saat sonrasını belirtecek şekilde düzenlenir. Kaplama karışımı hazırlandıktan sonra ambalaj bu izlenebilirlik numarası ile sevk edilmelidir.
- Hazırlanmış kaplama karışımı, oda sıcaklığında 4-6 saat dinlendirilmelidir. Kimyasal olarak kürlenmenin gerçekleşmesi gereklidir. Hazırlanmış karışım hava geçirmez şekilde kapatılarak maksimum 16 saat içinde tüketilmelidir.
- Her malzemeden yeterli miktarda almaya dikkat edilir. Fazla alınan malzeme tekrar kendi ambalajına konulmaz. Fazla gelen miktar atık kabına dökülür (hava almış malzeme diğer malzemeleri de bozacaktır). Tüm işlemler bittikten sonra kullanılan tüm kaplar solvent ile temizlenir.

Bu aşamaların proses adımları 4 fazda gerçekleşir. Proses akış şeması;

1. **Tartım ve Ölçüm:** Bu proses adımında kullanılacak kaplamanın cinsine göre (silikon, permutex, resilion vb.) laboratuvar tarafından hazırlanmış formüller kullanılarak ihtiyaç duyulan bileşenlerin tartımı yapılır.
2. **Hazırlama:** Tartılmış bileşenler bir kimyasal kaba eklenerek ayrı ayrı karıştırma süreleri ile sürekli karıştırılır. Bu karıştırma işlemi kimyasal kapta bulunan pervane ile sağlanır. Talimatlarda belirlenmiş sürelerde karıştırıldıktan sonra aktarma kaplarına konmak üzere hazırlanır.
3. **Kontrol Ambalaj:** İç müşterinin kullanacağı şekilde gerekli olan kaplara aktarılma ve etiketleme bu proses adımında yapılmaktadır.
4. **Malzeme Transferi:** Bu adımda oluşturulan karışım sistemsel olarak ilgili lokasyondaki üretim birimine transfer edilir ve de fiziksel olarak üretim birimine taşınır.

FMEA çalışması öncesi proses adımlarının çok net şekilde bilinmesi ve tanımlanması gereklidir. Proses akış şemasına göre ilgili proses adımında oluşabilecek

potansiyel hatalar, kök nedenler, etkiler belirlenmesi için her aşama analiz edilerek değerlendirilmelidir.

5.3. Problem Tanımı

Karışım hazırlama mevcut durumda ağırlıklı olarak manuel ve operatörlere bağlı yönetilmektedir. İç müşteri ve nihai müşteri kaplama kazımlarından, soyulmalarından ve OEM'lerin belirlemiş olduğu kaplama kalınlığının sağlanamamasından şikayetçidir.

Ayrıca iç proseslerde yaşanan problemlerin bir kısmını kaplama sorunları oluşturmaktadır. Üretim bölümünde karışımdan yeterli performans alınamamasına bağlı hurdalar oluşmakta ve firmanın hem üretim hem de kalite maliyetleri artmaktadır. Karışımın formüllerde belirlenmiş miktarlarda bileşen kullanılarak, en uygun karışım metodları ile karıştırılıp bekletilmeden bir sonraki prosese verilmesi çok önemlidir. Kullanılacak kimyasalların saklama koşullarından, malzeme seçiminden, kullanılan miktarların doğru ayarlanmasından ve proseste işlenmesinden kaynaklanabilecek riskleri azaltmak maliyetleri düşürecektir. Karışım hazırlama prosesinin operatörlerin manuel işlemlerine bağlı olması, kaplama performansını olumsuz etkilemektedir. Kullanılan kaplamaların her üretimde değişmesi ve varyasyon oluşturarak, üretilen ürünün hurdalanmasına veya kalitesiz üretime neden olmaktadır.

Bu çalışmada kaplama hazırlama prosesine ait değişkenlerin neler olduğu belirlenecektir. Buna bağlı olarak hataların kök nedenlerin neler olduğunun FMEA metodolojisi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Hangi hata türünün neleri etkilediği ve bu etkilerin risk boyutları çalışma kapsamında problem olarak ele alınmıştır. Bu proseste problemler olduğu FMEA yaklaşımı ile somut hale getirilecektir. FMEA yaklaşımında beyin fırtınası yöntemi ile problemler analiz edilecektir. Öncelikli olarak kaplama hazırlama prosesinden etkilenen ve bu prosesi etkileyen sorumluların dahil olduğu FMEA ekibinin oluşturulması ile başlanmıştır.

5.4.FMEA' nın Uygulanması

5.4.1. FMEA Ekibinin oluşturulması

FMEA, farklı fonksiyonlardan oluşan ekipler ile sağlanmalıdır. Firma içindeki farklı bölümlerden sorumlulukları olan kişiler ekip üyesi olarak belirlenmiştir. Süreç içerisinde sorumlulukları olan, teknik bilgiye sahip, FMEA metodolojisini bilen, yorum yapma yeteneğine sahip kişiler olmasına dikkat edilmiştir. Farklı tecrübeye sahip, önyargısız ve objektif görüşlerin ortaya çıkarılabilmesi için ekipteki kişilerin belirlenmesinde seçici olunmuştur. Bu faktörler göz önünde tutularak prosesle ilgisi olan kişilerin çekirdek ekip olarak belirlenmesi sağlandı.

Çekirdek ekip üyeleri içerisinde görev tanımları belirlenerek, sorumlu kişilere çalışma başlangıcında yapılacaklar aktarıldı.

- Moderatör: Toplantıları plan ve zaman dahilinde organize ederek ekibi yönetecek ve FMEA metodolojisini uygulayabilecek yeterliliktedir. Moderatörün görevi tarafsız şekilde ekibe yaklaşarak; ekibin beyin fırtınası çalışmalarını yapmasını ve potansiyel hataları, kök nedenleri ortaya çıkarmalarını sağlamaktır. Ayrıca FMEA tekniği ile proses bilgilerini birleştirip metodolojiyi doğru bir yaklaşımla uygulamakla sorumludur. Tablolara göre puanlama işlemini ve analizi dökümantate edecek kişidir.
- Kaplama hazırlama operatörleri: Proseste vardiyalı sistemle çalışan kendilerine verilen talimatlara uygun şekilde ürün ortaya çıkarması gereken kişilerdir. FMEA çalışmasında ortaya çıkan aksiyonların devamlılığını sahada sağlayacak pozisyondur.
- Kaplama hazırlama sorumluları: Proseste ait organizasyonu sağlayan, ekibi yönlendiren ve dökümantasyon süreçlerine hakim kişilerdir. Kaplama hazırlama prosesinde ortaya çıkabilecek tüm dökümantasyon çalışmalarını bu sorumlular yerine getirecektir.
- Bakım Mühendisi: Mevcut prosesteki makine ve ekipmanların kabiliyetine hakim, arıza ve herhangi bir iyileştirme çalışması hakkında fikir yürütebilecek yeterlilikteki sorumlulardır.

- Kalite Mühendisi: İç müşteri ve dış müşteri beklentilerini ortaya çıkaran ve kalite standartlarını yöneten sorumlu kişilerdir. Hata türlerinin müşterileri nasıl etkilediği sorusuna en doğru yanıtı verebilecek pozisyondur.
- Üretim Sorumluları: Kaplama prosesinden çıkan ürünün kullanılması ile performansını belirleyen ekiplerdir. Hazırlanmış kaplamanın ekstrüzyon ve finisyon proseslerinde hurda oluşturmadan ve kaliteli şekilde kullanılmasını takip eden sorumlulardır. Kaplama hazırlama prosesinin müşterisi konumunda olan kişilerdir.
- Laboratuvar sorumluları: Kimyasal karışımların miktarını belirleyen ve reçetelerin oluşturulmasını sağlayan sorumlulardır.

5.4.2. Potansiyel Hata Türleri

FMEA ekibinin beyin fırtınası yoluyla mevcut proseslerde karşılaşılabilecek hataları belirlemeleri çalışma süresince istenmiştir. Hataların daha önce gerçekleşmiş olabileceği gibi potansiyel olabilecek hatalarında düşünülmesi gerektiği moderatör tarafından belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda 4 proses adımında ortaya çıkan hata türleri tanımlanmıştır.

1 .Tartım ve Ölçüm prosesinde ortaya çıkan hata türleri

- Yanlış malzeme (bileşen) seçimi, doğru malzemelerin kullanılmama hatası
- Uygun olmayan ölçüm aletinin kullanılması
- Fazla/Eksik tartım yapılması

2. Hazırlama prosesinde ortaya çıkan hata türleri;

- Karışım sıralamasının karıştırılması
- Köpük olması
- Homojen karışım olması (Karışımında partikül kalması)
- Karışım bozulması
- Reçeteye uygun olmayan karışım

3. Kontrol-Ambalajlamada ortaya çıkan hata türleri;

- Proses sonrası malzemeye ait testlerin olmaması

4. Malzeme Transferi esnasında ortaya çıkan hata türleri;

- Yabancı madde bulaşması
- Dökülme problemi

5.4.3. Hatanın Potansiyel Etkisi

Potansiyel etkiler tanımlanırken oluşan hataların iç ve dış müşteriye olan yansımaları değerlendirilir. Bir hata gerçekleşirse ilk müşteriden başlayarak son müşteriye kadar tüm basamaklarda etkiler tanımlanmalıdır. Müşteri sıralamasında;

Proses Etki olarak, ilgili hata gerçekleştiğinde ürünün hurdalanabileceği veya yeniden işçilik yapılarak tekrar prosese kazandırılabilmesi işlemler dikkate alınmıştır. Yeniden işçilik yapmanın prosese zaman, işçilik süresi vb. maliyet kayıpları oluşturabileceği de FMEA ekibince değerlendirilmiştir. Bu tanımlamanın etkisi değerlendirilerek Şiddet puanı Tablo 8. Proses FMEA Şiddet Değerlendirme Kriterleri tablosundan verilmiştir.

Örnek; Yanlış malzeme seçim hatasının prosese etkisi; proste karışımın tamamı kullanılamaz olabilir değerlendirmesi yapılarak şiddet puanı tablodan “Ürünün bir kısmı hurda olursa. Hat hızının düşmesi veya ilave personel eklenmesini kapsayan ana prosten sapma durumu” açıklaması ile 7 puan olarak FMEA ekibi tarafından verilmiştir.

İç Müşteriye Etki; XYZ firması ürettiği yarımamulleri finisyon proseslerine vermektedir. Bu finisyon prosesleri ürün çeşidine göre farklılık göstermektedir. Yarımamullerin bir kısmı Türkiye dışında diğer lokasyonlara da sevk edilebilmektedir. Oluşan hatanın bir sonraki müşteriye olan etkisi değerlendirilmiştir.

Yanlış malzeme seçiminin İç müşteriye etki’si üretilen ürünlerin % 100’ü hurda olarak belirlenmiştir. Yani bu hatanın oluşması iç müşteride ürünün kullanılmayacağı anlamına gelmektedir. Tablo 8’den Şiddet puanı 7 olarak verilmiştir.

Müşteriye etki, oluşabilecek hatanın müşteri montaj hattında ve kullanıcı olarak son kullanıcı da etkisi fonksiyonel ve görsel açıdan değerlendirilerek puanlandırılmıştır.

Yanlış malzeme seçimi ile oluşacak hatanın ürünle taşınmasından son kullanıcı aracında sızdırmazlık problemi ile karşılaşacağı belirtilmiştir. Tablo 8'den Şiddet puanı 7 olarak verilmiştir.

FMEA çalışmasında şiddet puanları arasından en yüksek etkiye sahip olan puan dikkate alınır. Tüm müşterilere verilen puan 7 olarak değerlendirildiğinden ilgili hatanın şiddeti Ek-2 Proses FMEA Çalışma Formu maksimum şiddet (Max: Severity) kolonuna 7 olarak yazılır.

5.4.4 Potansiyel Kök Nedeni / Hatanın Mekanığı

Potansiyel kök nedenler hatayı oluşturan potansiyel sebepler olarak tanımlanır. Bu kök nedenlerin ortaya çıkarılmasında beyin fırtınası tekniği ile beraber problem çözme teknikleri de kullanılır. Balık kılçığı en yaygın kullanılan tekniktir. İnsan, Malzeme, Makine, Metod, Çevre faktörleri düşünülerek hatanın olabilecek potansiyel kök nedenleri belirlenir. Tüm kök nedenler Tablo 14. Uygulamaya Yönelik Potansiyel Kök Nedenler tablosunda verilmiştir. Hazırlama, tartım ve tüm prosese ait oluşabilecek kök nedenler Minitab17 programı kullanılarak Balık Kılçığı diyagramlarına aktarılmıştır.

Kök nedenlerin gerçekleşme olasılıkları "Tablo 9. Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Kriterleri" tablosuna göre puanlanır. Bu puanlamada FMEA ekibinin tecrübesi ve proseste gerçekleşme olasılıklarına ait istatistiki analizlerden faydalanır. XYZ firmasının proseste hurda oluşma sebeplerine ait verilerden faydalanılarak bu puanlama yapılmıştır. Ayrıca iç müşterilerden bildirilen müşteri şikayeti bulguları ve raporları da olasılık değerlendirmesini yaparken kullanılmıştır.

Tablo 14. Uygulamaya Yönelik Potansiyel Kök Nedenler

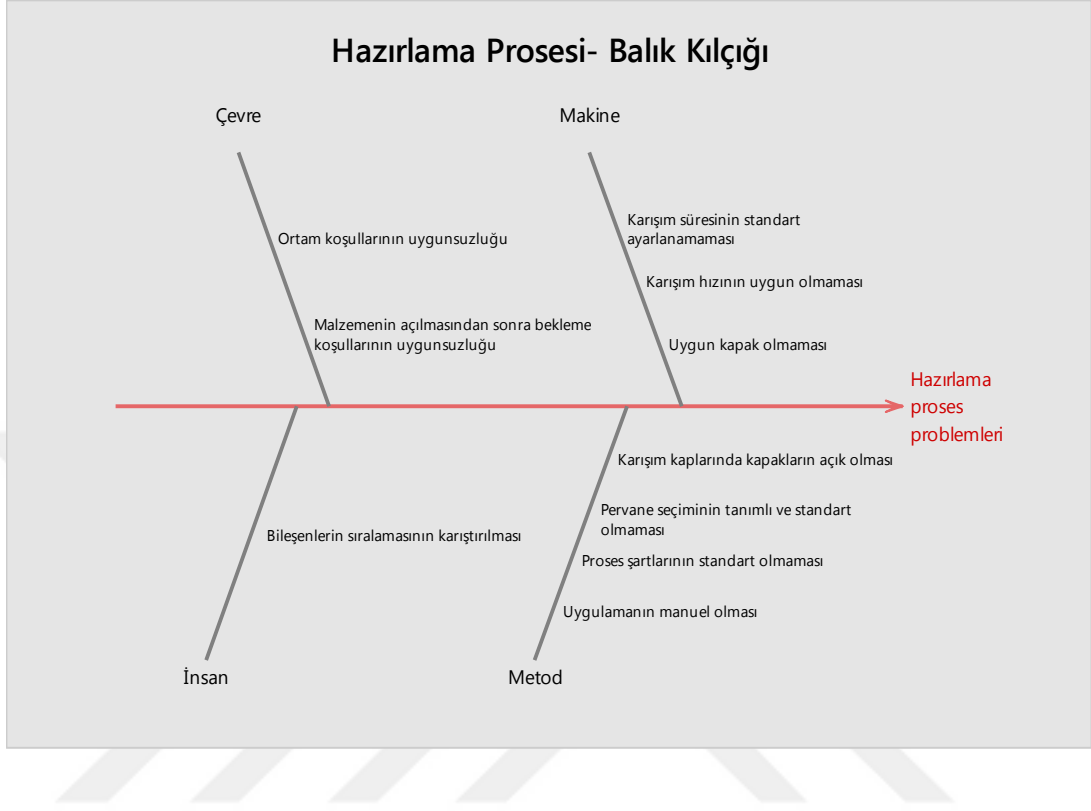
İnsan	Makine	Metod	Çevre
Seçim işleminin manuel olarak operatör ile yönetilmesi	Hassas terazinin uygun ölçüm yapmaması	Kalibrasyonsuz olması ve takip eksikliği	Ortam koşullarının uygunsuzluğu
Hammaddeden gelen malzemenin üzerinde yanlış etiket olması	Karışım süresinin standart ayarlanamaması	Tanımlı etiketleme olmaması	Malzemenin açılmasından sonra bekleme koşullarının uygunsuzluğu
Geri iadelerde yanlış etiketleyip gönderme	Karışım hızının uygun olmaması	Yöntem hatası (ikinci malzeme)	
Kapların temiz olmaması	Uygun kapak olmaması	Ölçüm biriminin karışık olması	
Bileşenlerin sıralamasının karıştırılması		Uygulamanın manuel olması	
		Proses şartlarının standart olmaması	
		Pervane seçiminin tanımlı ve standart olmaması	
		Karışım kaplarında kapakların açık olması	
		Kontrol planı olmaması ve testlerin tanımlanmamış olması	
		Taşıma kaplarının kapaksız olması	
		Taşıma arabasının uygun olmaması	
		Manuel aktarma olması	

FMEA çalışmasında beyin fırtınası yoluyla elde edilen kök nedenlerin gruplandırılması Tablo 14’ de verilmiştir. Bu gruplandırmada İnsan, Makine, Metod,

Çevre faktörlerine göre kök nedenler belirlenmiştir. Balık kılıcı metodu ile problemlerin kök nedenleri göz ardı edilmeden ortaya çıkarılmıştır. Potansiyel kök nedenlerin sayısına bakıldığında en fazla problem sayısının Metod ile ilgili olduğu dikkat çekmektedir. Kimyasal bir karışım prosesinde kullanılacak metodların standart ve tanımlı olması prosesin riskini azaltacağı önem kazanmaktadır. Çünkü problem tanımında da belirlendiği üzere karışım hazırlama işleminin ağırlıklı operatörlere bağlı manuel işlem olması ön plana çıkmaktadır.

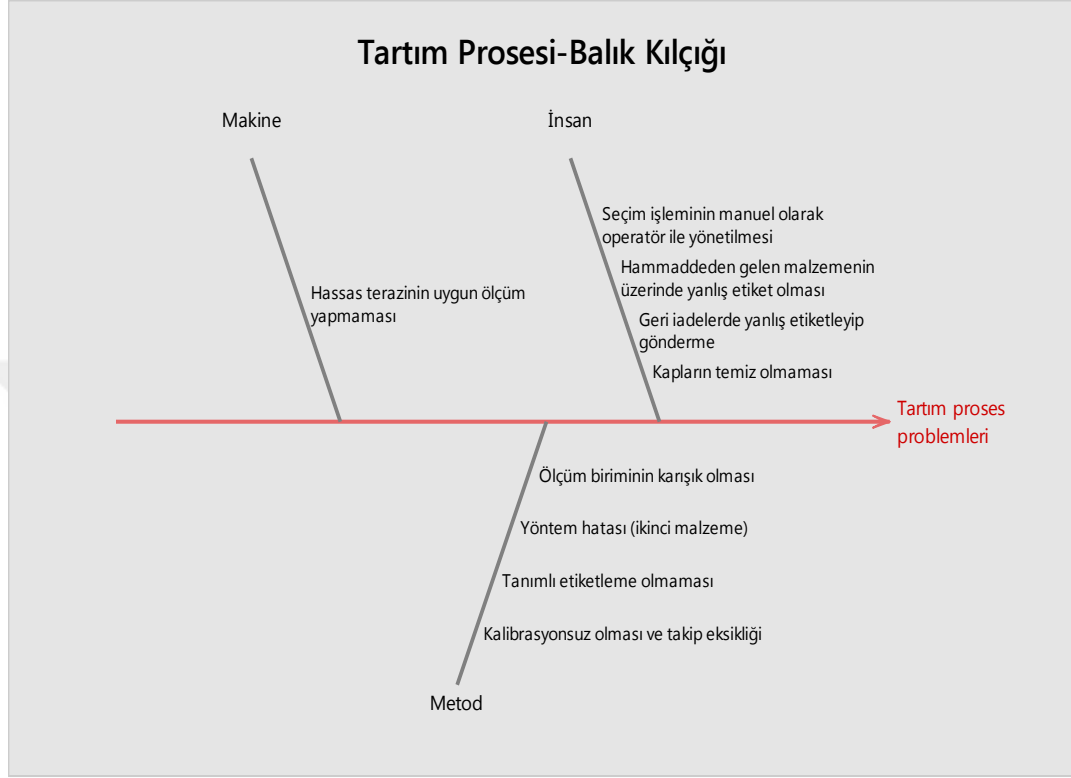
Kök nedenlere ait olasılık puanlaması Tablo 9. Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Kriterlerinden hareketle değerlendirilmiştir. Örneğin; Makine grubu içerisinde “ Karışım hızının uygun olmaması” ve Çevre grubu içerisinde “Malzeme açılmasından sonra bekleme koşullarının uygunsuzluğu” na ait olasılık değeri 7 puan olarak verilmiştir. Tablo 9’ da karşılıklarına bakıldığında 7 puanlamasının % 1 e denk geldiği görülmektedir. Bu iki kök neden yaklaşık % 1 olasılıkla mevcut proseste ortaya çıkmakta ve problem olarak yaşanabilmektedir. Her bir kök nedenin gerçekleşme olasılığı ve değerlendirme puanları Ek-2 Proses FMEA Çalışma Formunda yer almaktadır.

Şekil 7. Hazırlama Prosesi –Balık kılıcı



Proses bazında kök nedenler incelendiğinde Şekil 7' ye göre birinci proses olan hazırlama prosesindeki hataların 10 adet kök nedene bağlandığı görülmektedir. Bu kök nedenlerin her biri FMEA çalışmasındaki hataları ortaya çıkarmaktadır. Potansiyel kök nedenlerin belirlenmesi sonrası nedenleri ortadan kaldıracak aksiyonların alınması ile hazırlama prosesine ait risk azaltılacaktır. FMEA çalışmasında kök nedenler belirlenerek bunların gerçekleşme sıklığı ve olasılıkları Tablo 9. Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Kriterlerine göre puanlanmıştır. Balık kılıcığında hangi kategoride problemlerin olduğu görülebilmektedir. Ayrıca kök nedenlerin ortaya çıkarabilmesinin ideal yöntemi Balık Kılıcığındaki gibi İnsan, Malzeme, Makine, Çevre, Metod kısımlarının değerlendirilmesidir.

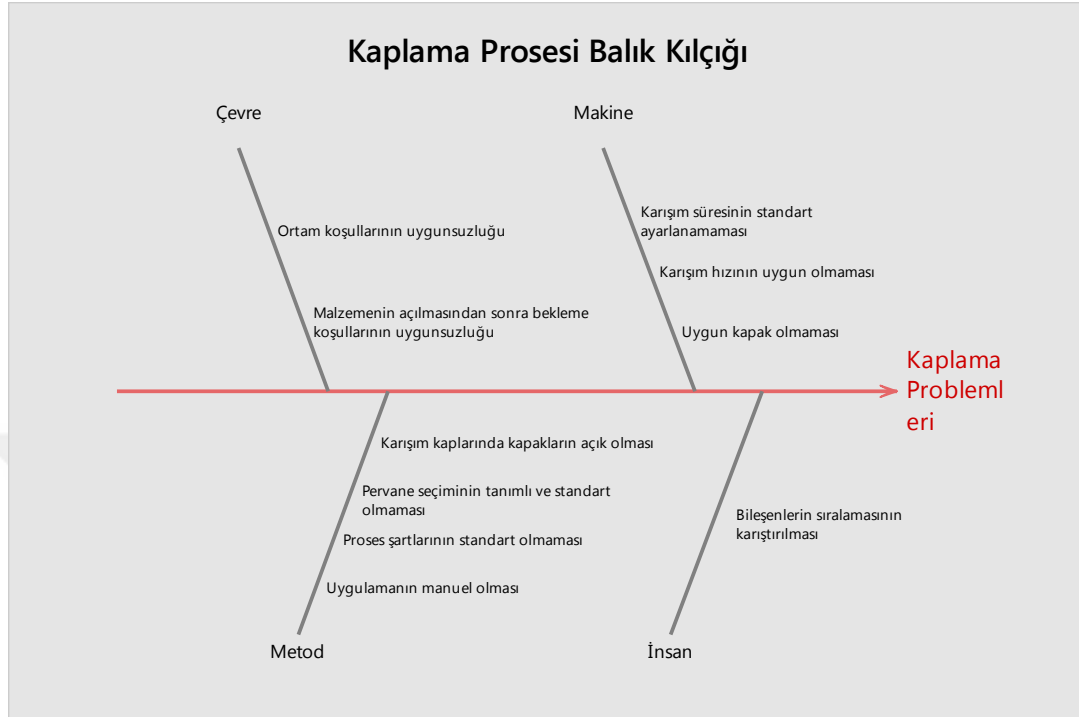
Şekil 8. Tartım Prosesi- Balık Kılçığı



İkinci proses adımı Tartım prosesine ait kök nedenler incelendiğinde en yüksek olasılığın “Uygun olmayan ölçü aletinin kullanılması “ olduğu görülmektedir. Bu hata türünü oluşturan kök nedenler içerisinde Metod grubunda yer alan “Kalibrasyonsuz olması ve takip eksikliği- Kalibrasyona kayıtlı olmaması” faktörü Tablo 9. Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Kriterlerine göre 9 puan olarak değerlendirilmiştir.

Tartım işlemi esnasında kullanılan ölçü aletlerinin doğrulanmamış olması ve farklı tiplerde standart olmayan ölçü kaplarının kullanılması bu problemi ortaya çıkarmaktadır. Tablo 9. Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Kriterlerine göre kök nedenin ortaya çıkması 20 üretimde 1 adet olarak gerçekleşmiştir. Tablodan verilen puanların analiz edilmesi riskin boyutu açısından önemlidir. Ayrıca puanlamaların istatistiki verilere dayandırılarak yorumlanması çalışmanın güvenilirliğini artırmaktadır.

Şekil 9. Kaplama Prosesi- Balık Kılıcı



Üçüncü proses olan Kaplama prosesinin geneline bakılarak en yüksek olasılığın “Uygun olmayan ölçü aletinin kullanılma” hatasında olduğu görülmektedir. Hata türünü ortaya çıkaran kök nedenin “Kalibrasyonsuz olması ve takip eksikliği- Kalibrasyona kayıtlı olmaması” Tablo 9’a göre 9 puanla ve 1/20 olasılıkla değerlendirilmiştir. Tartım prosesindeki kök nedenlerin benzerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bir kök neden farklı problemlerin sebebi olabilir. Bu durumda kök nedenlerin özellikle çözülmesinin fayda sağlayacağı görülmektedir.

En düşük olasılığın ise tartım ve ölçüm prosesinde “Yanlış malzeme (bileşen) seçim” hatasına bağlı “geri iadelerde yanlış etiketleme” kök nedeninin olduğu görülmektedir. Kök nedenin gerçekleşme olasılığı Tablo 9. Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Kriterlerine göre 2 puan olarak verilmiştir. 2 puanın gerçekleşme olasılığı 1/1.000.000 adettir. 1.000.000 işlem adımında 1 adet gerçekleşme olasılığının olduğu değerlendirilmiştir. Kök nedenler içerisinde çok düşük de olsa tüm kök nedenler tanımlanmalıdır. Çünkü FMEA çalışmaları aynı zamanda işletmenin teknik

bilgi birikimini yansıtır. Bir problemi etkileyen tüm unsurlar ortaya konularak işletmeye ait Know-How (sahip olunan teknik, teknolojik bilgi ve deneyim) oluşturulur.

5.4.5 Mevcut Proses Kontrolleri

Mevcut kaplama prosesinde faaliyetlerin büyük bir kısmında kontrol olmadığı ve manuel yönetildiği FMEA çalışmasında görülmüştür. FMEA çalışmalarında Kontrol adımı yoksa yakalama puanları 10 olarak değerlendirilir. Kontroller hanesinde kontrolü olmayan ve yapılmayan adımlar için Kontrol yok tanımı kullanılmıştır. Önleyici ve yakalayıcı kontroller birlikte değerlendirilmiştir. 2 adımda kontrol var değerlendirmesi yapılmıştır. Birinci olarak “geri iadelerde yanlış etiketleme” kök nedenin hammadde depoda etiket kontrolü ile sağlanması nedeniyle “Tablo 10. Proses FMEA Yakalama Değerlendirme Kriterlerine” göre 8 puan verilmiştir. İkinci olarak “kapların kirli olma” kök nedeninde etkin olmayan fakat zaman zaman yapılan temizlik kontrolleri varlığı nedeniyle 9 puan verilmiştir.

Prosesin bu yönüyle de bir riski olduğu çoğunlukla kontrollerin olmamasından açık bir şekilde görülmektedir. Sadece operatör insiyatifi ile yönetilmeye çalışılan bu proseste olabilecek potansiyel hataların yakalanamadan bir sonraki müşteriye kaçması kaçınılmaz görülmektedir. Tablo 10. Proses FMEA Yakalama Değerlendirme Kriterleri göre “Proseste kontrol yok, yakalanamaz veya analiz edilmez” değerlendirmesi ile kontrolü olmayan proses adımlarına yakalama puanı olarak 10 puan verilmiştir.

5.4.6. Risk Öncelik Puanı (RPN)

Hataların şiddeti (S) ortaya çıkma olasılığı (O), yakalama derece (D) puanları çarpılarak bir RPN elde edilir. Hesaplanan Risk Öncelik Puanına (Risk Priority Number –RPN: SxOxD) göre iyileştirme alanları saptanır ve öncelikli faaliyet alanları belirlenir (Geum ve Park 2011).

Hangi faaliyetlerde mutlaka aksiyon alınması gerektiği ve riskli olan bölgelerin ortaya çıkarılması istendiğinde, Alman grubu VDA-4 standardına göre Şekil 10. Şiddet ve Olasılık Matrisi oluşturulur. Ek-2 Proses FMEA Çalışma Formundaki tüm hata türlerinin Şiddet ve Olasılık puanlarına bakarak matris oluşturulmuştur. Yeşil bölgede 1, Sarı bölgede 5 iyileştirmeye açık alan, Kırmızı bölgede 34 iyileştirme zorunluluğu olan faaliyet görülmüştür. Standartlara göre 34 faaliyet için aksiyon gerekliliği belirlenmelidir. Çalışma içerisinde belirtilen faaliyetlere yönelik aksiyonlar Ek-2 Proses FMEA Çalışma Formu “ Recommendations” kolonunda tanımlanmıştır.

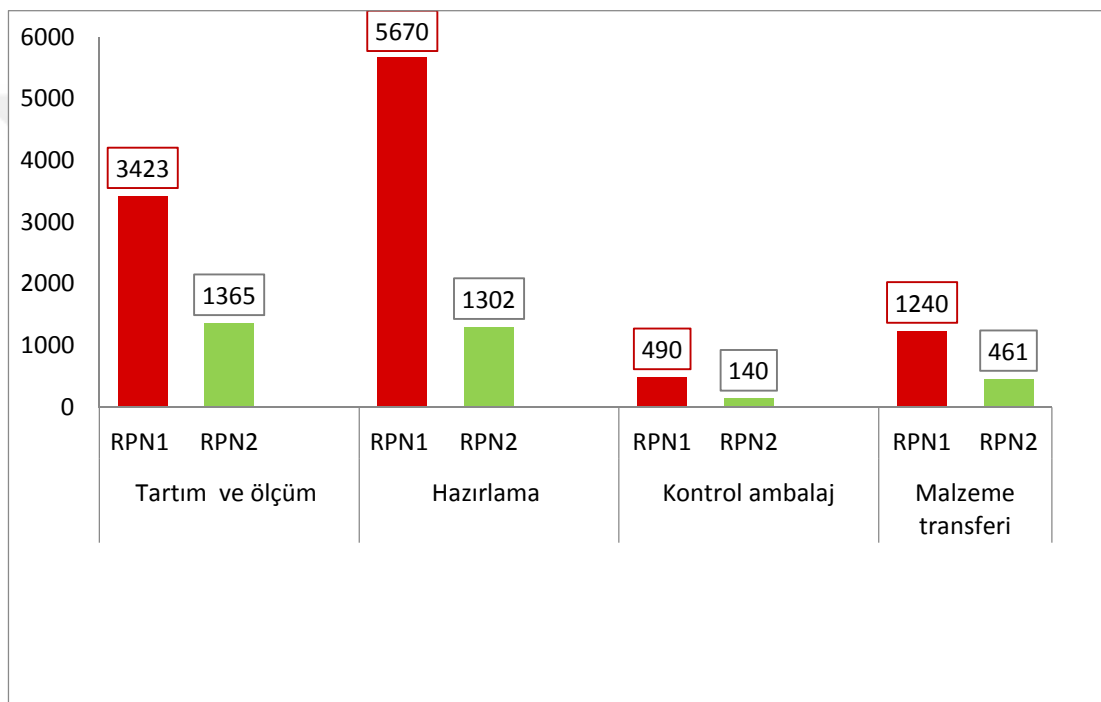
Şekil 10. Şiddet ve Olasılık Matrisi

Olasılık	10										
	9						1				
	8						1				
	7					2	10				
	6					1	4				
	5	1					5				
	4					1	10				
	3						3				
	2						1				
	1										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Şiddet									

VDA-4 standardı ve genel kabul standardına göre RPN değerleri gözden geçirilir. En yüksek RPN değerine sahip hata türleri için düzeltici/önleyici aksiyonlar önerilmelidir. Bu aksiyonların amacı; şiddet, olasılık ve yakalanabilirlik değerlerinden bir ya da birkaçını düşürmektir. Aksiyonlar tamamlandığında şiddet, olasılık, yakalama puanları tekrar verilerek yeniden RPN hesaplanır.

Kaplama prosesine yönelik oluşturulan FMEA çalışmasında riskli proseslerin risk seviyesini düşürmek ve ürünün prosesten minimum hata ile çıkmasını sağlamak için alınması gereken aksiyonlar sonrası beklenen RPN2 değerleri ile mevcut prosese ait RPN1 değerleri karşılaştırılmıştır. RPN1 değeri mevcut prosesin riskleri, RPN2 değeri bu risklere karşılık tanımlanmış (Ek-2-Proses FMEA Çalışma Formu, “Recommendations” kolonu) aksiyonlar sonrası oluşan risk puanıdır.

Şekil 11. Proseslere göre Risk Puanları (Öncesi/Sonrası)



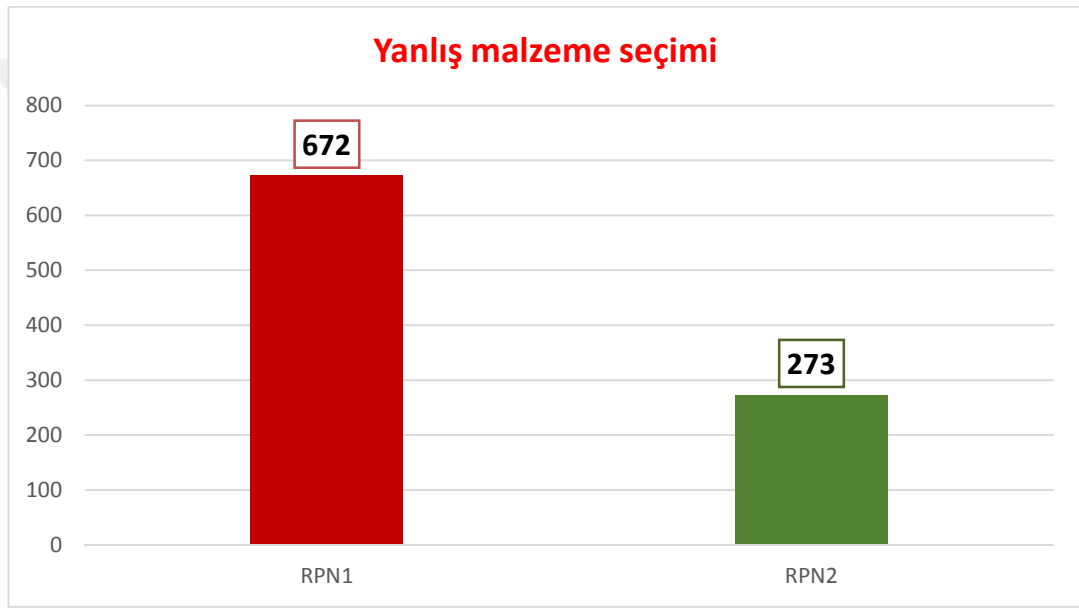
Proses bazında RPN değerleri karşılaştırılarak hangi prosesin en riskli olduğu ve RPN1 aksiyonlar öncesi, RPN2 aksiyonlar sonrası iyileşme sağlanan prosesler Şekil 11’de görülmektedir. Mevcut proseste FMEA çalışması öncesi en riskli prosesin 5670 RPN1 değeri ile Hazırlama prosesi olduğu, 3423 RPN1 değeri ile Tartım ve ölçüm prosesi ikinci sırada yer almaktadır. Sonrasında Malzeme transferi 1240 RPN1, 490 RPN1 puanı ile kontrol ambalaj olduğu görülmektedir.

Aksiyonlar tanımlandıktan ve aksiyonlar yerine getirildikten sonra, hazırlama prosesi RPN değeri 1302 ye düşürülerek % 77, tartım ve ölçüm prosesi RPN değeri 1365’e düşürülerek % 60, Malzeme transferi RPN değeri 461’ e düşürülerek % 62,

kontrol ambalaj prosesi RPN deęeri 140' a dūřurūlerek % 71 kazanç saęlanarak risk olasılıęı minimize edilmiřtir.

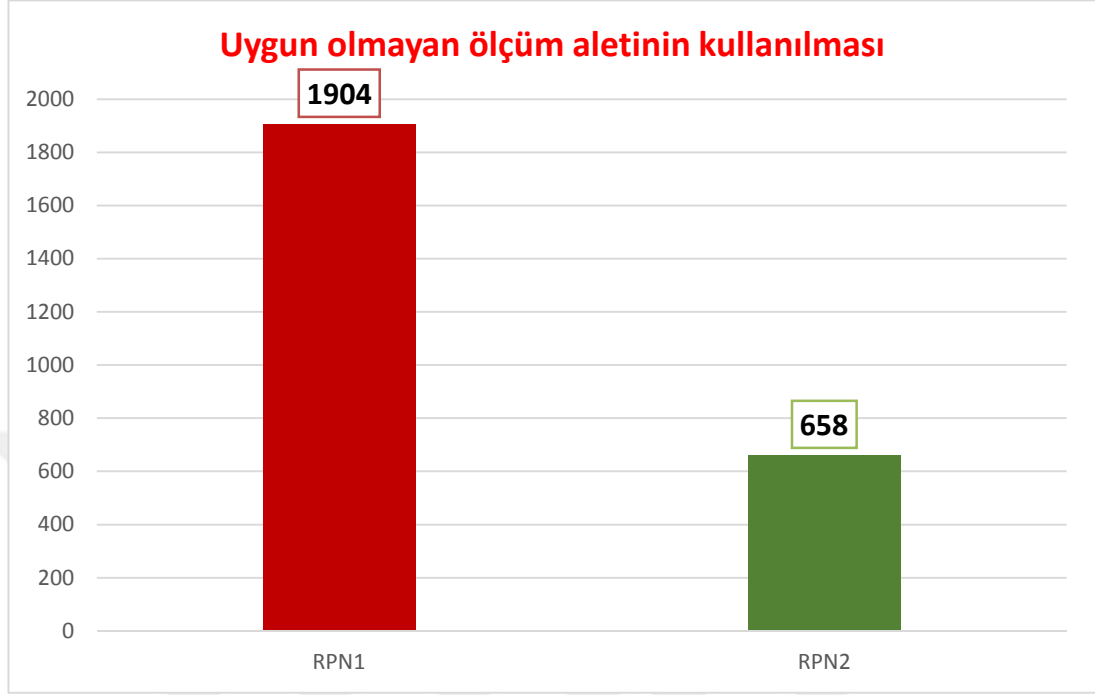
Hatalara yōnelik olarak oluřturulan RPN1 ve RPN2 deęerleri karřılařtırıldıęında alınacak aksiyonlarla risklerin yūzde olarak ne kadar dūřurūldūęu ve FMEA çalıřmalarının etkinlięini ortaya çıkarabilmektedir.

řekil 12.“Yanlıř Malzeme Seęim” Hata Tūrūne Gōre RPN



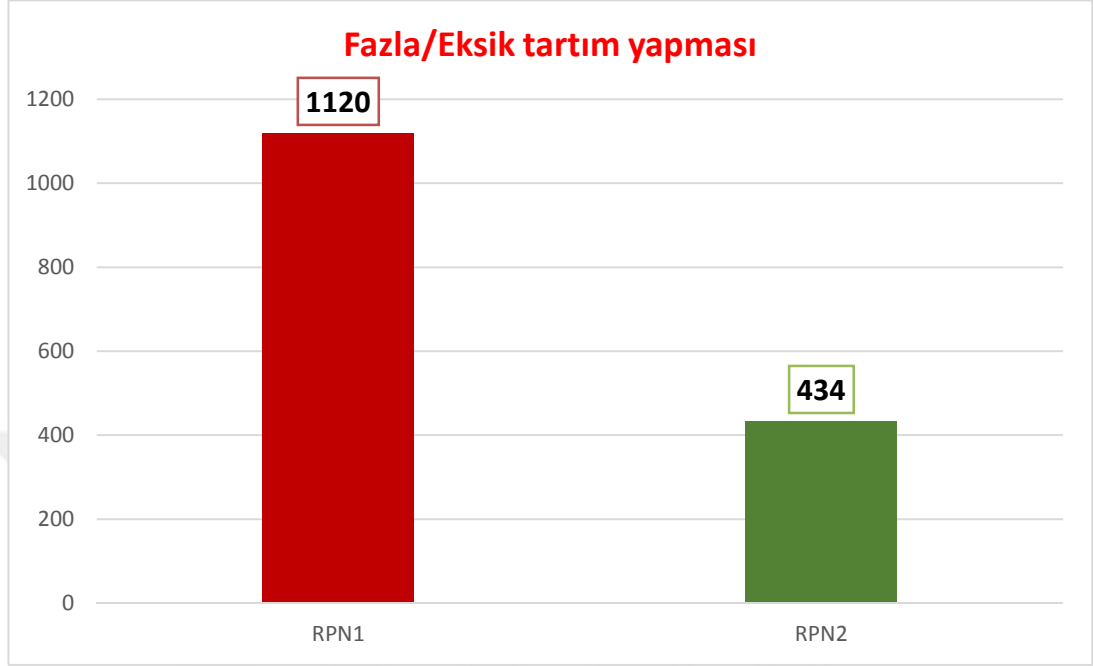
“Yanlıř malzeme (bileřen) seęimi” hatasına yōnelik ; belirlenen 672 RPN deęerini dūřürmek için “Kontrol planı oluřturularak operatōrūn gōzle kontrolū eklenmesi”, “Malzeme seęimine baęlı barkodlama vb otomatik sistem entegrasyonu”, “Hammaddeden trackerla etiketleme” ve “İade yōntemi tanımlanmalıdır” aksiyonları alınmıřtır. Aksiyonlar ōncesi RPN1 deęeri 672 iken , aksiyonlar sonrası RPN2 deęeri 273 olmuřtur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 59.3 dūřürūlmüřtūr.

Şekil 13. “Uygun Olmayan Ölçüm Aletinin Kullanılması” Hata Türüne Göre RPN



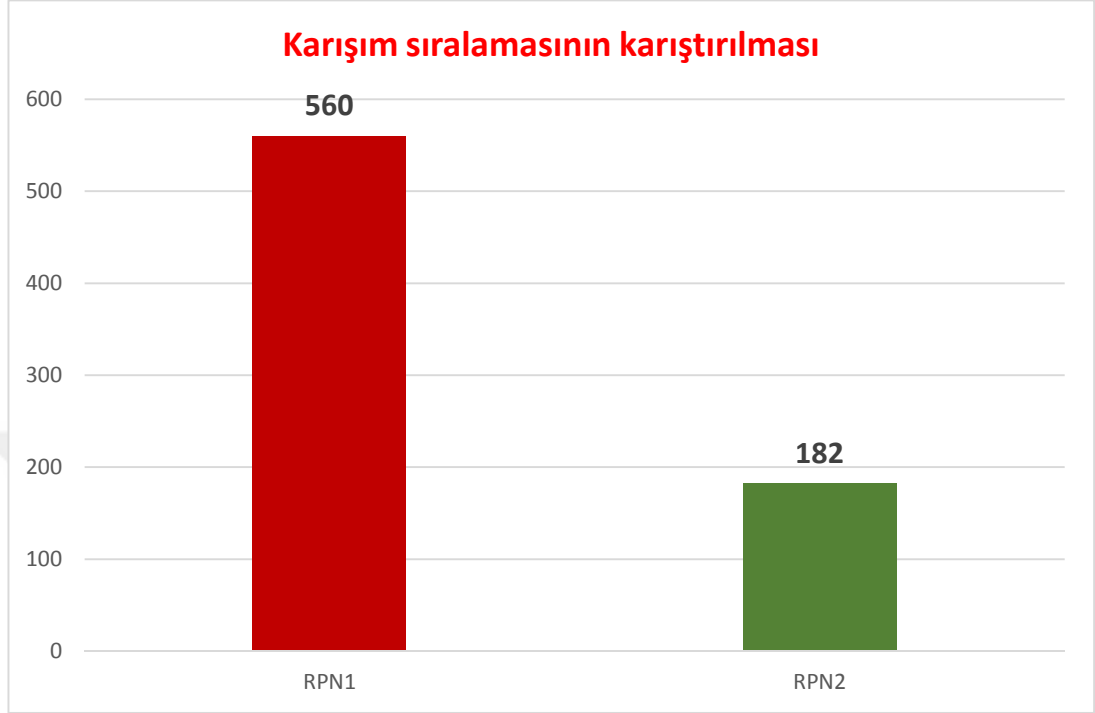
“Uygun olmayan ölçüm aletinin kullanılması” hatasına yönelik; belirlenen 1904 RPN değerini düşürmek için “Ölçüm kaplarının kalibrasyonlarının yapılarak takibi” , “Kodlama vb. ile beherlerin tanımlanıp ayrılması” ve “Periyodik temizlik kontrolü tanımlanacak-Kontrol planına eklenmesi” aksiyonları alınmıştır. Aksiyonlar öncesi RPN1 değeri 1904 iken, aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 658 olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 65.4 düşürülmüştür.

Şekil 14. “Fazla/ Eksik Tartım Yapılması” Hata Türüne Göre RPN



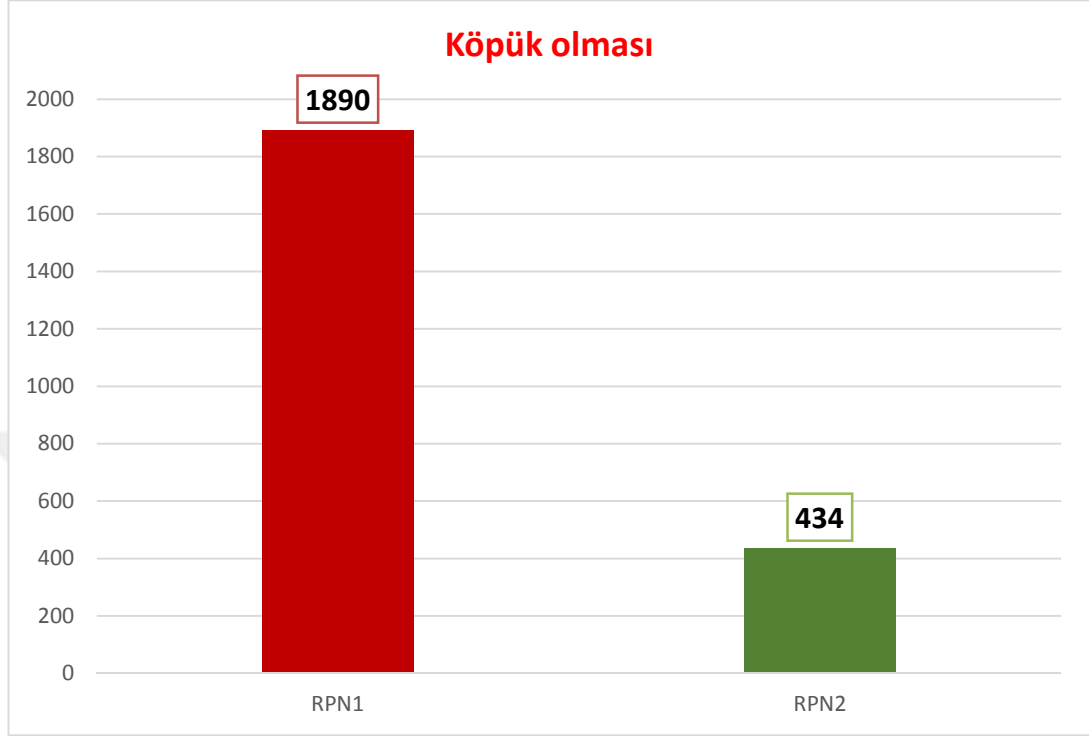
“Fazla/Eksik tartım yapılması” hatasına yönelik; belirlenen 1120 RPN değerini düşürmek için “Metod tanımlaması yapılarak standartlaştırılacak”, “Metoda ilişkin eğitimler verilecek”, “Otomatik sırayla bileşenlerin karışıma dahil edilmesi”, “Kalibrasyon sistemine dahil olmaması”, “Terazi yerinin sabitlenmesi”, “Yetkinliklerin oluşturulup eğitimlerin tanımlanarak verilmesi” ve “Talimatlarda tek ölçü biriminin kullanılarak tanımlanması ve ölçü kaplarının ayarlanması” aksiyonları alınmıştır. Aksiyonlar öncesi RPN1 değeri 1120 iken , aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 434 olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 61.2 düşürülmüştür.

Şekil 15. “Karışım sıralamasının karıştırılması” Hata Türüne Göre RPN



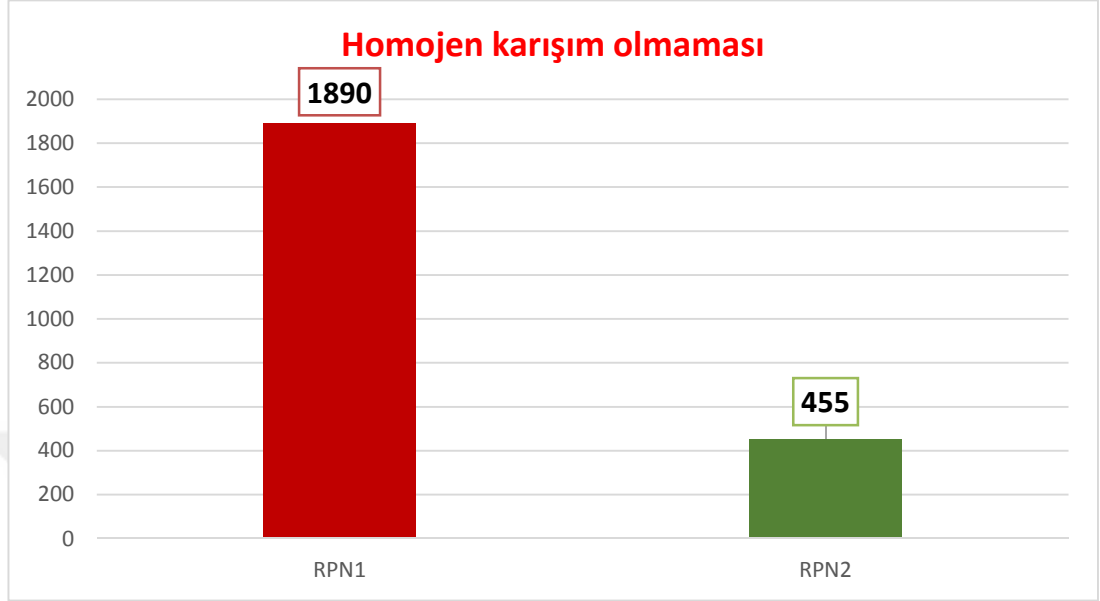
“Karışım sıralamasının karıştırılması” hatasına yönelik ; belirlenen 560 RPN değerini düşürmek için “Yetkinliklerin oluşturulup eğitimlerin tanımlanarak eğitim verilmesi” ve “Dozajlama sisteminin entegre edilmesi” aksiyonları alınmıştır. Aksiyonlar öncesi RPN1 değeri 560, aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 182 olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 67.5 düşürülmüştür.

Şekil 16. “Köpük Olması” Hata Türüne Göre RPN



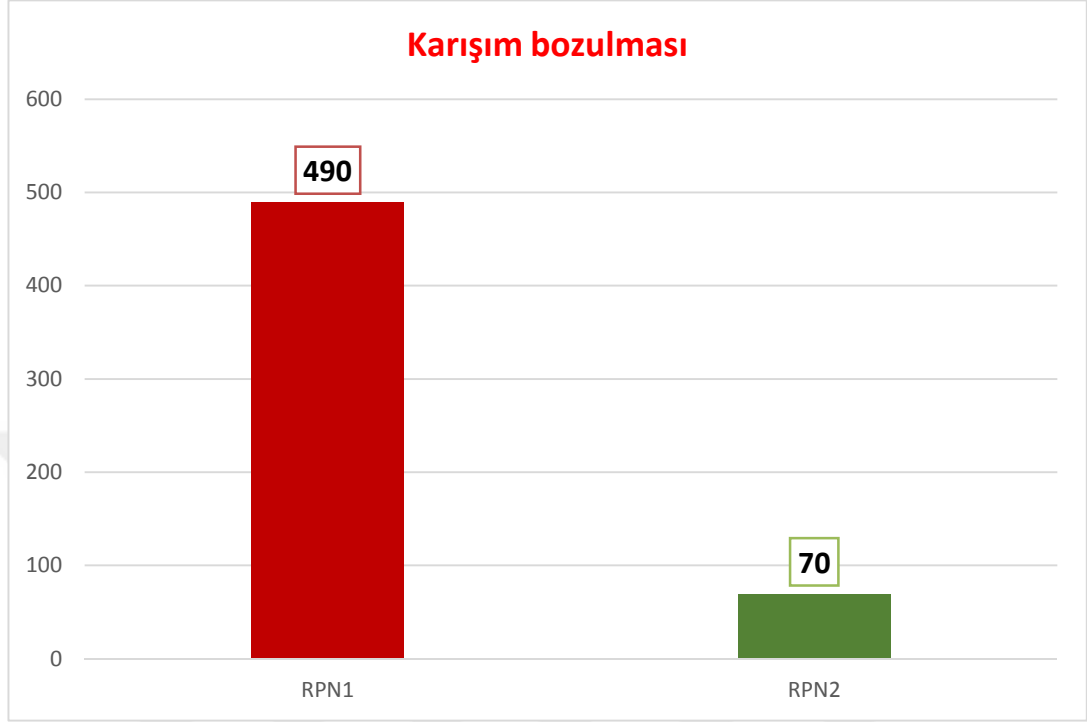
“Köpük olması” hatasına yönelik belirlenen 1890 RPN değerini düşürmek için “Otomatik süre ölçümü ve kilitleme sistemi”, “Karışım hızının belirlenmiş hızlarda standart yapılması ve otomatik yönetilerek kilitleme sistemi ile garanti altına alınması”, “Proses şartlarının belirlenerek tanımlanması-Kontrol Planı oluşturulması”, “Klima ile ortam şartlarının standart hale getirilmesi” ve “Pervane seçimini tanımlamak ve tek tip pervane uygulamasına geçmek” aksiyonları alınmıştır. Aksiyonlar öncesi RPN1 değeri 1890 iken, aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 434 olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 77 düşürülmüştür.

Şekil 17. “Homojen Karışım Olmaması” Hata Türüne Göre RPN



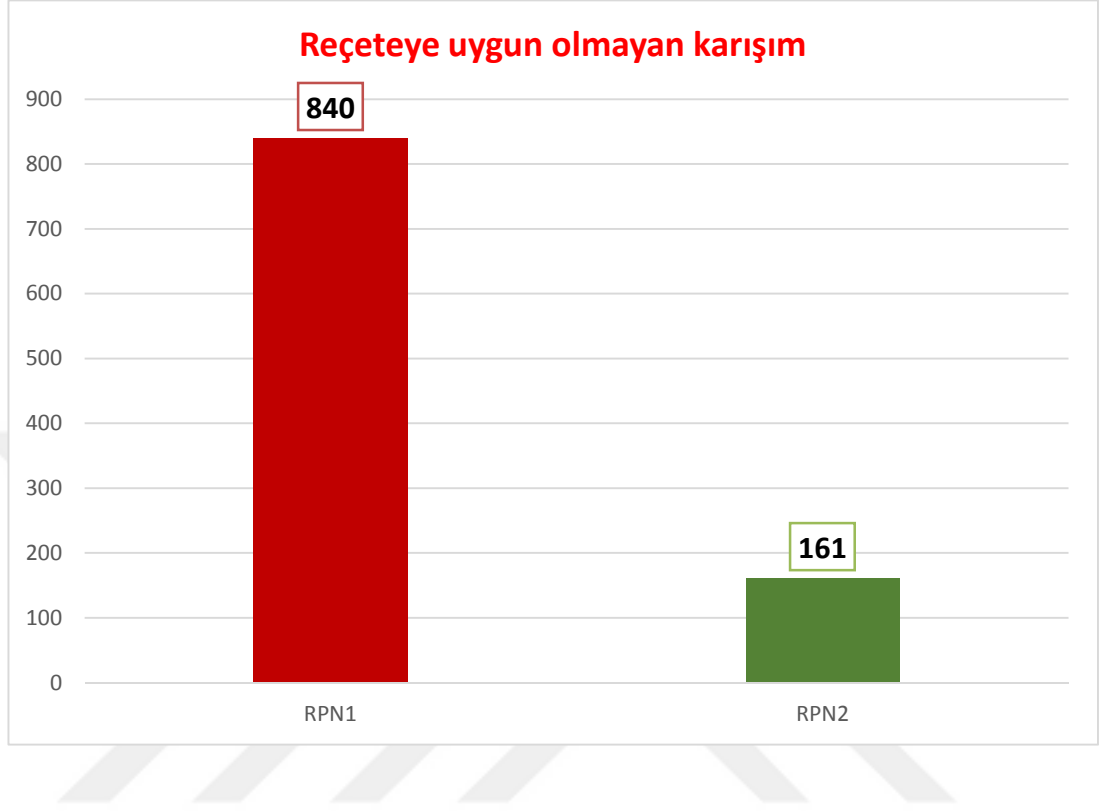
“Homojen karışım olmaması-Partikül olması” hatasına yönelik belirlenen 1890 RPN değerini düşürmek için “Otomatik süre ölçümü ve kilitleme sistemi” , “Karışım hızının belirlenmiş hızlarda standart yapılması ve otomatik yönetilerek kilitleme sistemi ile garanti altına alınması”, “Klima ile ortam şartlarının standart hale getirilmesi”, “Pervane seçimini tanımlamak ve tek tip pervane uygulamasına geçmek” ve “Kapakların gözden gözden geçirilerek menteşeli açılıp kapanabilir hale getirilmesi” aksiyonları alınmıştır. Aksiyonlar öncesi RPN1 değeri 1890 iken, aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 455 olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı %75.9 düşürülmüştür.

Şekil 18. “Karışım Bozulması” Hata Türüne Göre RPN



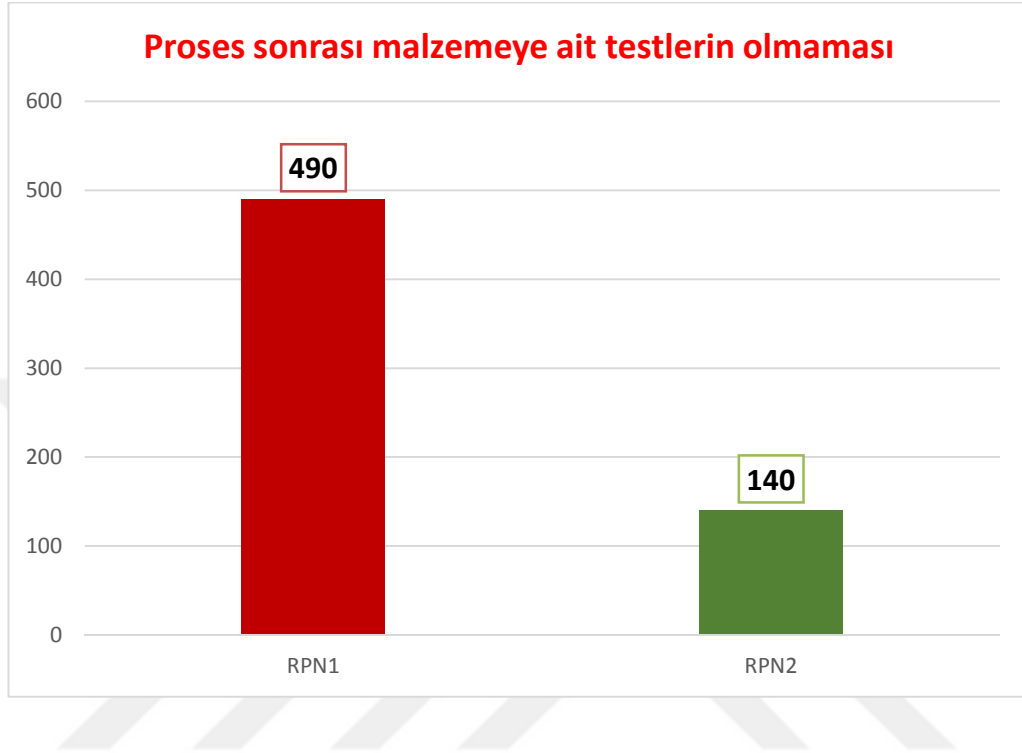
“Karışım bozulması” hatasına yönelik belirlenen 490 RPN değerini düşürmek için “Talimatlara bekleme koşullarının tanımlanarak operatörlere eğitim verilmesi” ve “Etiketleme ve barkodlama ile ömür tayini sağlanması” aksiyonları alınmıştır. Aksiyonlar öncesi RPN1 değeri 490 iken, aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 70 olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 85.7 düşürülmüştür.

Şekil 19. “Reçeteye Uygun Olmayan Karışım” Hata Türüne Göre RPN



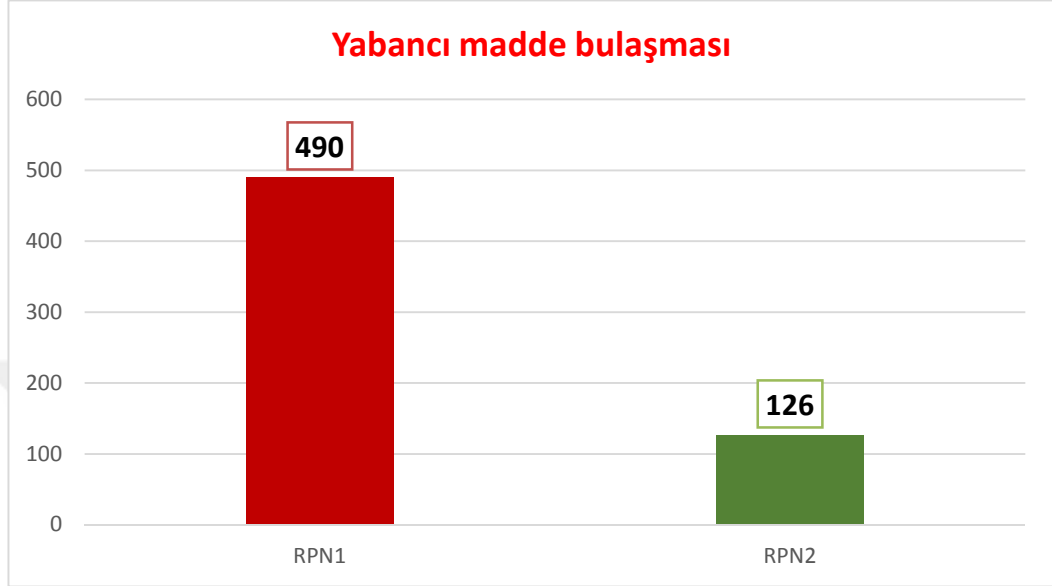
“Reçeteye uygun olmayan karışım” hatasına yönelik belirlenen 840 RPN değerini düşürmek için “Otomatik sırayla bileşenlerin karışıma dahil edilmesi” , “Miktarların tanımlanmış reçeteye göre sistemden otomatik alınarak sırası gelmeyen malzemenin karışıma girmemesi ve kilitleme sistem entegrasyonu” ve “Miktarların tanımlanmış reçeteye göre sistemden otomatik alınarak sırası gelmeyen malzemenin karışıma girmemesi ve kilitleme sistem entegrasyonu” aksiyonları alınmıştır. Aksiyonlar öncesi RPN1 840 iken, aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 161 olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 80.8 düşürülmüştür.

Şekil 20. “Proses Sonrası Malzemeye ait testlerin olmaması ” Hata Türüne Göre RPN



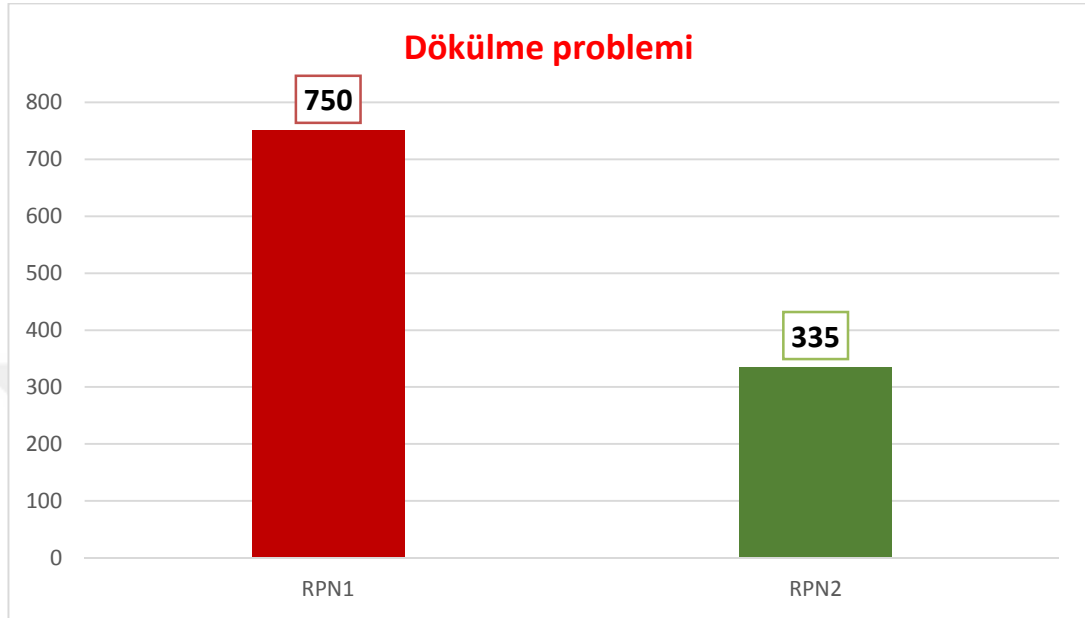
“Proses sonrası malzemeye ait testlerin olmaması” hatasına yönelik belirlenen 490 RPN değerini düşürmek için “Viskozite testlerinin tanımlanması”, “Katı madde testlerinin tanımlanması”, “Yoğunluk testlerinin tanımlanması” ve “Kontrol planında tortu (dibe çökme) kontrolünün tanımlanması” aksiyonları alınmıştır. Aksiyonlar öncesi RPN1 değeri 490 iken, aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 140 olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 71.4 düşürülmüştür.

Şekil 21. “Yabancı Madde Bulaşması” Hata Türüne Göre RPN



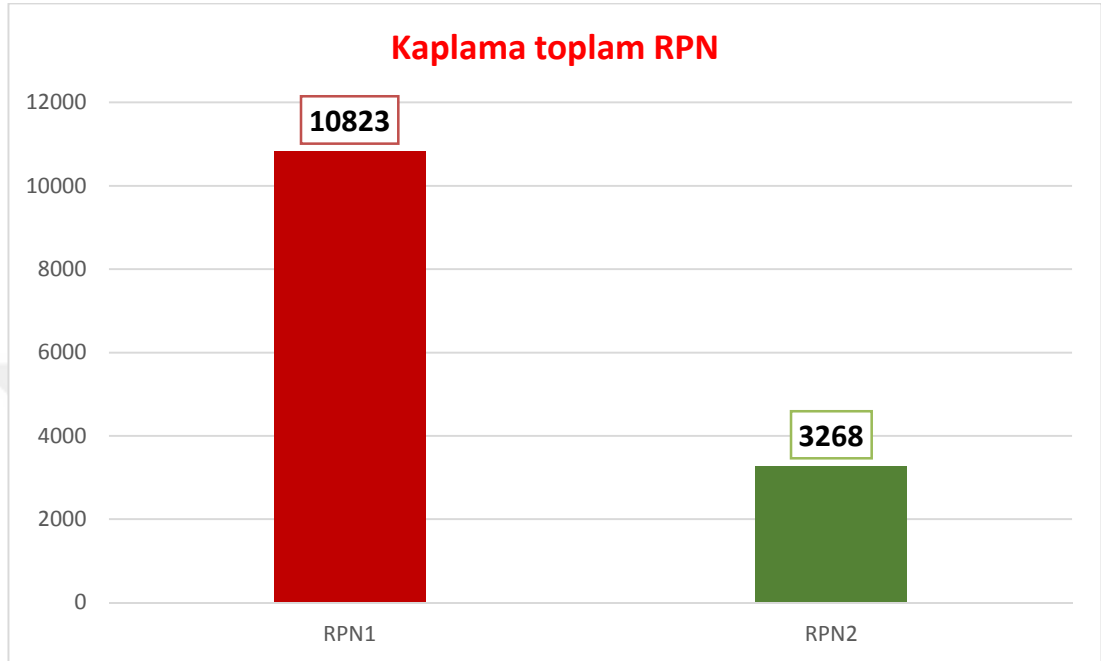
Şekil 21’ e göre “Yabancı madde bulaşma” hatasına yönelik belirlenen 490 RPN1 değerini düşürmek için “Taşıma kaplarının belirlenmesi, standart ve tanımlı olması” aksiyonu alınmıştır. Taşıma kaplarının standart olması çevreden gelebilecek yabancı maddeleri engelleyecek ve her zaman için standart bir taşıma işlemi yapılacaktır. Aksiyon öncesi RPN1 değeri 490 iken, aksiyon sonrası RPN2 126 olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 74.2 düşürülmüştür.

Şekil 22. “Dökülme Problemi” Hata Türüne Göre RPN



“Dökülme problemi” hatasına yönelik belirlenen 750 RPN değerini düşürmek için “Taşıma kaplarının belirlenmesi, standart ve tanımlı olması”, “Taşıma arabasının iyileştirilmesi (Tekerleklerinin dolgu lastiğe çevrilmesi vb.)”, “Taşıma kaplarının belirlenmesi, standart ve tanımlı olması” ve “Aktarma için basit yapıda pompalı sistemin entegrasyonu” aksiyonları alınmıştır. Aksiyonlar öncesi RPN1 değeri 750 iken, aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 335 değeri olmuştur. Aksiyonlarla Risk Puanı % 55.3 düşürülmüştür.

Şekil 23. Kaplama Prosesine Göre RPN (Öncesi / Sonrası)



Şekil 23'e göre Kaplama prosesinin tamamında ortaya çıkması muhtemel hata türleri için; RPN1 toplamda 10823 iken, belirlenmiş aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 3268 olmuştur. FMEA ekibi tarafından belirlenen aksiyonların tamamlanması ile prosesin risk oranı % 69.8 oranında düşürülmüş olacaktır. İşletmede % 69,8 oranında daha az kaplama problemleri olacağı ve kaplama prosesine bağlı oluşan kalite maliyetlerinde % 69.8 iyileşme sağlanacağı FMEA çalışmaları ile belirlenmiştir.

Gerekli tüm aksiyon faaliyetleri Ek-2 Proses FMEA Çalışma Formu "Recommendations" kolonunda belirtilmiştir. Tüm faaliyetlerin yerine getirilmesi sonucunda prostesteki risk boyutu % 69.8 oranında düşmüş olacaktır.

5.5. Proses FMEA Çıktıları

5.5.1. Proses FMEA Kontrol Listesi

Proses FMEA çıktıları içerisinde Proses FMEA kontrol listesi bulunmaktadır. Bu kontrol listesi FMEA çalışmaları sonrası doldurularak, FMEA dökümanı ile birlikte arşivlenir. Bu dökümanda bulunan sorulara göre gerekli kontroller yapılarak gözden kaçırılabilir noktaların öncesinden belirlenmesi amaçlanmıştır. FMEA çalışması raporlanmadan ve arşivlenmeden bu kontrol listesine göre kontroller tamamlanır.

Uygulama çalışmasına göre oluşturulan Proses FMEA kontrol listesi Tablo 15’de yer almaktadır. Soru listeleri içerisinde sadece “Taşeron veya dış kaynaklı süreç ve hizmetlerdeki tüm işlemler dikkate alınmış mıdır” sorusunda uygulama olmadığı belirlenmiştir. Diğer sorular yapılan FMEA çalışmasına göre uygulanmış ve değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda uygulanan faaliyetler için “Evet” seçeneği seçilmiştir. FMEA çalışmasının sonunda tekrar bir geri dönüş yaparak kontrol amaçlı bu listesinin gözden geçirilmesi sürece katkı sağlayacaktır. Ayrıca kontrol listesini oluşturmak Otomotiv Sektörü için AIAG’nin APQP referans manuel standartına göre zorunluluktur.

Tablo 15. Proses FMEA Kontrol Listesi

Parça no: Kaplama Prosesi-001

Revizyon Seviyesi..1.....

	Soru	Evet	Hayır	Uygulama yok	Gerekli Aksiyon	Sorumlu	Hedef Tarih
1	Proses FMEA çapraz fonksiyonlu ekip tarafından mı hazırlandı ? Ekip mevcut FMEA teknikleri ile beraber, müşteriye ait özel istekleri dikkate aldı mı ?	X					
2	Taşeron veya dış kaynaklı süreç ve hizmetlerdeki tüm işlemler dikkate alınmış mıdır?			X			
3	Müşteri gereksinimlerini etkileyen bütün işlemler (fonksiyon, dayanıklılık, yasal yükümlülükler ve güvenlik) tanımlandı ve listelendi mi?	X					
4	Benzer parçaların ve proseslerin FMEA'ları gözönünde bulunduruldu mu?	X					
5	Geçmiş birikimler ve garanti verileri gözden geçirildi ve analiz edildi mi?	X					
6	Hata modlarının tümünü ele almak için uygun kontroller yapıldı mı ?	X					

Tablo 15. .Devam. Proses FMEA Kontrol Listesi

	Soru	Evet	Hayır	Uygulama yok	Gerekli Aksiyon	Sorumlu	Hedef Tarih
7	Aksiyon planı tamamlandığında şiddet/olasılık ve yakalanabilirlik değerleri revize edildi mi ?	X					
8	Etkiler, takip eden operasyon, montaj ve ürün müşterilerini gözönünde bulunduruyor mu?	X					
9	Proses FMEA geliştirilirken müşteri fabrikasındaki problemler dikkate alındı mı?	X					
10	Hata sebepleri, düzeltilebilecek veya kontrol edilebilecek şekilde tanımlandı mı?	X					
11	Hata sebebini kontrol etmek için hazırlık yapıldı mı ?	X					

Revizyon
Tarihi:
23.03.2017

5.5.2 Kontrol Planı

Proses FMEA çalışmasının çıktıları arasında prosese ait bir kontrol planının olması IATF 16949:2016 Otomotiv sektörü Kalite Yönetim Standartının bir gereğidir. Çalışma başlangıcında bu proseste herhangi bir kontrol planı bulunmuyordu. Operatörler yaptıkları kontrolleri kayıtlı hale getirmeden sağlamaya çalışıyordu. Fakat FMEA çalışması sonrası Yakalama kriterleri dikkate alınarak prosese kontrol planı kazandırılmıştır. Şekil 24’ de oluşturulan Kontrol plan örneği görülebilir. Kontrol planı ilgili proseste yapılması gereken kontrolleri tanımlar. Hangi karakteristik karşısında hangi frekans ve yöntemle kontrol edileceği kontrol planlarında tanımlanır. Otomotiv sektörü için kontrol planı çok önemlidir. Operatörlerin proseste çalıştıkları süre de mutlaka bir kontrol planı tutma zorunluluğu bulunmaktadır.

Kontrol planı prosese ve ürüne yönelik kontrolleri içermelidir.Şekil 24’ de ele alınan kaplama ürüne yönelik kontroller ve PFMEA sonrası oluşan proses risklerine ilişkin kontroller belirtilmiştir. Ürüne yönelik testler reçeteye bağlı “ Genel görünüm” kontrolleri, proses riskleri içerisinde ise sıcaklık, süre, viskozite yer almaktadır.

Şekil 24. Kontrol Plan

Tedarikçi : Tedarikçi Kodu : Üretim Birimi :		KONTROL PLANI						HK K32		SAYFA 1/1	
Prototip	Önseri	X	Seri	Parça Adı: MONTAJ KOLA. SİLİKON KARIŞIMI			İlk Hazırlama Tarihi:	Revizyon Tarihi:	Revizyon No:		
Müşteri Referans No:				Proje/ No:	Sorumlu:	Kayıt Şekli:					
Müşteri Res.No/ Mod.Trh:				Raf Ömrü:	Numune Koruma Şekli:	Tepki Planı:	Hazırlayan/Tel/İmza:				
Res.No/Mod.Trh:				ÖZELLİK	MÜŞTERİ	AÇIKLAMA	Müşteri Onayı/Tarih:				
				Kritik			Onay:		GKK Sınıfı: 0000		
				Önemli			Revizyon Nedeni :				
Sertifika No:	Sertifika Rev Tarihi										
SIRA	ÜRÜN	SNF	TEST ŞARTI/ŞARTNAME	TOLERANSI	BRM	KONTROL ALETİ	ÖRNEK	FREKANS	KONTROL METODU	ŞARTNAME	
1	GENEL GÖRÜNÜM		XI	GRAMAJI İÇİN BKZ. T-0029			1				
2	GENEL GÖRÜNÜM			GRAMAJI İÇİN BKZ. T-0029			1				
3	GENEL GÖRÜNÜM		Y	GRAMAJI İÇİN BKZ. T-0029			1				
4	GENEL GÖRÜNÜM		I	GRAMAJI İÇİN BKZ. T-0029			1				
5	GENEL GÖRÜNÜM			GRAMAJI İÇİN BKZ. T-0029			1				
6	SICAKLIK			15 ---- 30 ODA SICAKLIĞI 15-30°C	°C		1				
7	SICAKLIK			---- ---- ---- KAPLAMA SICAKLIĞI	°C		1				
8	SÜRE			---- ---- ---- KARIŞIM SÜRESİ	Dakika		1				
9	VİSKOSİTE KONTROLÜ			---- ---- ----	mu		1				

6. SONUÇ

Günümüz koşullarında rekabet edebilmek için; müşteri memnuniyetini artırmak kaçınılmazdır. Müşteri memnuniyetini her yönüyle etkileyen en önemli unsur şüphesiz kaliteli ürün üretmektir. Kaliteli ürünün üretilerek müşteriye ulaştırılması dizayn aşamasında başlar. Olabilecek potansiyel hataların henüz dizayn aşamasında belirlenmesi ve bu hataların oluşturacağı risklerin minimize edilmesi veya ortadan kaldırılması çok önemlidir.

Müşteri memnuniyetini sağlamak ve pazarda tutunabilmek için işletmeler aynı zamanda maliyetlerini azaltmalıdır. Ayrıca ürünün sorumluluğu konusunda yasal yükümlülükleri de yerine getirmeleri gereklidir. Bu nedenle ürün ve proseslerin güvenilir olmasını artırmak için birçok sistematik metod ve uygulama oluşturulmuştur. Uluslararası kalite yönetim sistemleri ve müşteriler de bu metodların kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Bu çalışma kapsamında Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA)'nin yapıldığı XYZ Otomotiv yansanayi firmasında uygulanan IATF 16949:2016 Otomotiv Kalite Yönetim Sistem Standartı, ürün tamamlanmasının tüm aşamalarında FMEA çalışmasını istemektedir. ISO 9001'den farklı olarak IATF 16949:2016 da ön plana çıkan 5 Core Tools olarak adlandırılan APQP, PPAP (Production Part Approval Process-Üretim Parçası Onay Prosesi), SPC, MSA (Measurement System Analysis-Ölçüm Sistemleri Analizi), FMEA çalışmaları bulunmaktadır. Bu metodlar içerisinde her noktada uygulanabilir olması ve sürekli güncel tutulması nedeniyle FMEA ön plana çıkmaktadır.

FMEA; dizayn ve prosesten kaynaklanan potansiyel hata türleri üzerine odaklanarak sadece ortaya çıkmış ve bilinen hatalar değil, olması muhtemel potansiyel hataların risklerini belirleyerek önceliklendirir. FMEA çalışmalarının amacı; mevcut risklerin müşteriye ulaşmadan önce ortadan kaldırılması, kabul edilebilir bir seviyeye indirilmesi veya oluşmalarını engelleyecek sistemlerin belirlenmesidir.

Hata türü ve etkileri analizinin sağladığı yararlar açısından disiplinler üstü bir özellik taşımaktadır. Ürün ve proseslerin tasarlanarak güvenilirliğinin artırılması yanı sıra işletme rekabet becerilerinin arttırılması, kalite maliyetlerinin azaltılması, işletme imajının desteklenmesi, müşteri memnuniyetinin arttırılması, mühendislik ve teknik bilgilerin sürekli artırılması, değişikliklerden kaynaklı oluşan maliyetlerin azaltılması, departmanlar arası iletişimin güçlendirilmesi, çalışmaların dokümante edilerek; yeni projeler için bir referans oluşturulması sayılabilir.

Sistematik şekilde FMEA uygulayan işletmelerin, yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip ürünleri ve prosesleri, düşük maliyetler ile en kısa sürede tasarlayarak pazarda ciddi bir rekabet avantajı kazanacakları çok net olarak görülmektedir. FMEA çalışmaları her zaman güncel tutulacağından sürekli iyileştirme açısından da işletmelere farkındalık sağlayarak işletmeleri inovatif çalışmalara yönlendirecektir.

Bu çalışmada XYZ Otomotiv yansanayi işletmesinde bulunan proseslerden kaplama hazırlama prosesine ait risklerin belirlenerek ortaya çıkarılması sağlanmıştır. Kaplama prosesinde bulunan potansiyel hatalar, kök nedenler belirlenerek Proses FMEA çalışması uygulanmıştır. FMEA çalışmasında ihtiyaç duyulan aksiyonlar tanımlanarak işletmeye sunulmuştur. FMEA çalışmalarından somut faydalar elde edilebilmesi için söz konusu aksiyonların izlenmesi ve sonuçlandırılması gereklidir. Aksi durumda analizin yararları sınırlı kalacaktır. FMEA bir defa uygulandıktan sonra; hızlı ve ani sonuçlar beklenmemeli ancak uygulamaya sürekli devam ederek ekonomik kazançların değerlendirilmesi zaman içinde yapılmalıdır.

Analizler esnasında, profesyonel FMEA yazılımlarının kullanılması dünya genelinde yaygınlaşmaktadır. Bu yaygınlaşmanın nedenleri arasında; mühendislik ve teknik çalışmalara dokümantasyon çalışmalarından daha fazla zaman ayrılabilmesi bulunmaktadır. Ayrıca, hazırlanan FMEA çalışmalarının revizyonlarının ve takiplerinin daha kontrollü yapılabilmesi bu tür yazılımlarla ergonomik ve kolay hale gelmiştir. Tavsiye edilen aksiyonların, FMEA dökümanları ile teknik resimlerin, proses akış şemaları ve kontrol planlarının yönetilmesi yazılımlarla mümkün hale gelmiştir. FMEA çalışmalarının en önemli çıktıları içerisinde edinilmiş tecrübeler

bulunmaktadır. Bu tecrübelerin yazılı hale getirilerek kayıtlı olması ve veri tabanının oluşturulması işletmeye ciddi katkılar sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında; IHS firmasının risk analizi için özel olarak geliştirdiği FMEA-Pro8 yazılımı kullanılmıştır. Yazılımın kullanılması sonucunda elde edilmesi beklenen faydaların sağlanabildiği gözlemlenmiştir.

Özellikle Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren global firmaların 40 yılı aşkın bir süredir FMEA'yı sürekli olarak geliştirdikleri görülmektedir. Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors otomotiv firmalarının bir araya gelerek 1993 yılında ilk yayını yaptıkları AIAG referans manuel FMEA kitapçığı aynı zamanda otomotiv firmalarının uyması gereken bir standart olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu gelişmeler ışığında otomotiv sektöründe uygulanan FMEA çalışmalarının günümüzde geldiği noktayı belirlemek ve farklı müşterilerin, FMEA konusundaki beklentilerini bir araya getirerek referans oluşturabilecek bir kaynak bu çalışma ile sağlanmıştır.

Ayrıca FMEA türlerinden Proses FMEA çalışmasını XYZ Otomotiv yansanayi firmasına uygulayarak, firmanın kalite maliyetlerini azaltacak çalışmalar yapılmıştır. XYZ firmasında bulunan Kaplama prosesinin tüm potansiyel hataları FMEA metodu ile belirlenmiştir. FMEA metodu çapraz fonksiyonlu ekipler olarak adlandırılan, firma içerisindeki farklı bölümlerden katılımcılar ile yürütülmüştür. Analizin temelinde farklı bakış açıları ve tecrübelerin gündeme getirilmesi yatar. FMEA ekipleri içerisinde farklı bölümlerden katılımcıların olması ile potansiyel problemler aynı anda görüşülerek değerlendirilmiştir.

XYZ firması içerisinde FMEA çalışmasına katkı sağlayacak çekirdek ekip; Üretim, Laboratuvar, Proses, Kalite, Bakım bölümlerinin sorumluları ile oluşturulmuştur. Bu ekip FMEA eğitimi alan metodolojinin temel bilgilerine sahip kişilerden belirlenmiştir.

FMEA metoduna hakim ve sistematik yapıyı bilen bir Moderatör toplantıları organize ederek FMEA çalışmasının evrelerini tamamlamıştır. Bu evreler içerisinde ekibin belirlenmesi, toplantıların organize edilmesi, raporların oluşturulması, aksiyonların takibi ve FMEA çalışmasının dökümanite edilmesi bulunmaktadır.

Moderatör toplantılar öncesinde ilgili birimlerden hazırlık yapmalarını talep etmiş ve FMEA çalışmalarına başlarken verilerin hazır bulundurulmasını sağlamıştır. Bu veriler içerisinde istatistiksel proses kontrol sonuçları, iç redler, hurda oranları, kalite maliyetleri, müşteri şikayetleri, proses akış şemaları, prosese ait talimat ve prosedürler yer almaktadır.

Analizin tamamlanması, iyileştirme faaliyetlerinin sunulması ve uygulanması konusunda FMEA ekibinin hangi sınırlar içerisinde kalması gerektiği çalışma başlangıcında moderatör tarafından net olarak tanımlanmıştır. Buna göre; Ekibin sorumluluk alanı sadece analizin yürütülmesi ile sınırlı kalmamış, iyileştirme faaliyetlerinin uygulama ve tamamlama sorumluluğu da ilgili departman ve kişilere verilmiştir.

FMEA çalışmasının birinci adımında; kaplama prosesinin proses adımları tanımlanarak bu proses aşamalarında ortaya çıkabilecek potansiyel hata türleri öngörülmüştür. Daha sonra her bir hata türünün müşteriye etkileri ve kök nedenleri belirlenerek, bunlara karşılık uygulanan mevcut kontroller form üzerinde belirtilmiştir. Kök nedenlerin belirlenmesinde MİNİTAB 17 paket programı Balık Kılçığı metodu kullanılmıştır.

İkinci adımda; potansiyel hata türleri, Şiddet, Görülme sıklığı–Olasılık ve yakalanabilirlik açısından puanlanarak, bu puanların çarpımından elde edilen RPN, hata türleri arasında bir önceliklendirme yapılmasında kullanılmıştır. Puanlandırma sırasında moderatör ve ekip; otomotiv sektöründe genel kabul görmüş (AIAG, FMEA 2008) değerlendirme tablolarından yararlanmıştır.

Üçüncü adımda; RPN değerinin düşürmek için iyileştirme potansiyeli görülen faaliyetler için önlemler önerilmiş, ilgili aksiyonlar ve bu aksiyonların sorumlu bölümleri belirlenmiştir. İlgili çalışmanın tamamına EK-2 Proses FMEA Çalışma Formundan ulaşılabilir.

Dördüncü adımda; FMEA çalışmalarında ortaya çıkan risklerin gerçekten aksiyon alınıp alınamayacağı standart ve müşteri beklentilerine göre değişkenlik göstermektedir. OEM firmalarının FMEA çalışmaları sonrası hangi RPN değerlerine göre aksiyon alınacağı çalışmanın literatür kısmında belirtilmiştir. Çalışmanın uygulama kısmında Alman grubunun talep etmiş olduğu standart olan VDA-4' e göre

öncelikli RPN değerlendirmesi için Şekil 10. Şiddet ve Olasılık Matrisi oluşturularak aksiyonların öncelik aşamaları belirlenmiştir.

Beşinci adımda; RPN değerleri için belirlenmiş aksiyonlar öncesi ve sonrasına ait pareto analizleri yapılmıştır. Bu çalışmalarda RPN1 öncesine ait, RPN2 ise aksiyonlar yerine getirildiğinde ilgili hatanın gelebileceği risk seviyesini göstermektedir. Ayrıca işletmeye sunularak aksiyon alınması gereken noktaların belirlenmesi için pareto analizleri açıklanmıştır.

Ele alınan uygulama prosesinin tamamında ortaya çıkması muhtemel hata türlerine göre RPN1 toplamda 10823 iken, aksiyonlar sonrası RPN2 değeri 3268 olmuştur. FMEA ekibi tarafından belirlenen aksiyonların tamamlanması ile prosesin risk oranı % 69.8 oranında düşürülmüş olacaktır. İşletmede % 69,8 oranında daha az kaplama problemleri olacağı ve kaplama prosesine bağlı oluşan kalite maliyetlerinde % 69.8 iyileşme sağlanacağı FMEA çalışmaları ile ortaya konulmuştur.

Altıncı adımda; kaplama prosesi için yapılan FMEA çalışmasına ait kontrol listesinin doldurulması sağlanmıştır. Bu kontrol listesinin doldurulması FMEA çalışmalarında gözden kaçabilecek noktaları belirlemek içindir. Kontrol listelerinin içeriği müşterilere göre farklılık göstermektedir. AIAG, APQP kitapçığında bulunan A7 olarak adlandırılan kontrol listesi kullanılmıştır.

Yedinci adımda; Proses FMEA'nın en önemli çıktısı olan mevcut kontrolleri içeren Kontrol planı oluşturularak firmaya sunulmuştur. Çalışma başlangıcında herhangi bir kontrol planı bulunmadığı ve çalışma sonrası prosese ait kontrol planı oluşturulması sağlanmıştır. Ulaşılan noktada ilgili proseste operatörlerin hangi kontrolleri yapması gerektiği kontrol planlarında tanımlanmıştır.

Son olarak; FMEA çalışmasında belirlenen risklere karşılık tavsiye edilen aksiyonlar takip edilerek işletme yönetimine sunulmuş ve gerekli bütçe çalışmaları ilgili bölümlerce başlatılarak sistemin iyileştirilmesi planlanmıştır.

FMEA analizi 6 haftalık sürede tamamlanmıştır. Sonrasında çıkan aksiyonların yürütülmesi ve sonuçlandırılması bu çalışma kapsamında beklenerek 12 haftalık bir sürede aksiyonlar yerine getirilmiştir.

Kaplama hazırlama prosesinde öncesi ve sonrası duruma ait görüntüler EK-3 ve EK-4 de yer almaktadır. Öncesinde operatörlere bağlı olarak manuel yürütülen kaplama hazırlama prosesi sonrasında otomasyona yönelik bir sisteme dönüştürülmüştür. Dozajlama sistemi ile kaplama hazırlama prosesinde ilgili reçetenin seçimi sonrası ağırlıkların otomatik tartıldığı bir sisteme geçilmiştir. İşletmelerin bu tür çalışmalar yapması sürekli iyileştirme kapsamında hem işletme maliyetlerini azaltacak hemde ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Ayrıca inovasyon kapsamında bu vb. çalışmalar endüstriyel sistemlerin geleceği nokta açısından pozitif katkılar sağlayarak işletmelere rekabet avantajı sağlayacaktır.

Sonuç olarak; Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), birçok metodu bünyesinde barındırabilen bir yapıya sahiptir. Uygulanması, belirli bir tecrübe ve bilgi birikimi gerektirse de çıktılarının sağladığı avantajlar ve faydalar açısından ön plana çıkmaktadır. FMEA çalışmalarından maksimum faydanın sağlanması için; zaman planının çok iyi yapılması, çalışma kapsamının belirlenmesi, tavsiye edilen aksiyonların izlenerek takip edilmesi ve üst yönetimin desteği gereklidir.

Sistemik olarak FMEA uygulayan işletmeler; yüksek güvenilirlik ve kaliteye sahip ürünleri, en düşük maliyetler ile en kısa sürede tasarlayıp üreterek, sektörde ciddi bir rekabet avantajı sağlayacaklardır.

Literatür kısıtı nedeniyle bu çalışma da göz önüne alınamayan bir husus, Makine & Ekipman FMEA çalışmalarıdır. Son yıllarda büyük çaplı üretim tesislerinde de uygulanması ciddi fayda sağlayan Makine&Ekipman FMEA çalışmalarına ilerleyen dönemlerde yer verilmesi ve uygulamalarının yapılması literatüre ve uygulama zenginliğine katkı sağlayacaktır. Ayrıca hizmet sektörlerine yönelik olarak Sistem FMEA çalışmaları da uygulanan sistemlerin risklerinin belirlenmesi adına geliştirilebilir noktalar olarak sonraki çalışmalara yön verecektir.

7. KAYNAKÇA

Abdelgawad, M. ve Fayek, A. (2010). Risk Management in The Construction Industry Using Combined Fuzzy FMEA and Fuzzy AHP." *J. Constr. Eng. Manage.*, 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000210, 1028-1036.

Aldridge, J. R., Taylor, J., ve Dale, B. G. (1990). The Application of Failure Mode And Effects Analysis of An Automotive Components Manufacturer. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 8(3), 44–56

Ambekar, S.B., Edlabadkar, A., ve Shrouy, V. (2013). A review: Implementation of Failure Mode and Effect Analysis. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2(8), 37-41.

Ashley, L., Armitage, G., Neary, M., ve Hollingsworth, G. (2010). A practical guide to failure mode and effects analysis in health care: making the most of the team and its meetings. *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, 36(8), 351-358.

Aran, G. (2006). *Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (Fmea) Ve Bir Uygulama*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Arvilla, S. M. C. (2014). Risk Assessment in Project Planning Using FMEA and Critical Path Method. *Scientific Papers*, 14(3), 39.

http://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol_14/art6.pdf adresinden 09.09.2016 tarihinde alınmıştır.

Automotive Industry Action Group (AIAG). (2008). *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Reference Manual*. Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation

Automotive Industry Action Group (AIAG). (2006). Production Part Approval Process. (PPAP). Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation

Baysal, M. E., Canıylmaz, E., ve Eren, T. (2002). Otomotiv Yan Sanayinde Hata Türü ve Etkileri Analizi. *Teknoloji Dergisi*, 5(1-2), 83-90.

Belu, N., Rachieru, N., Militaru, E., ve Anghel, D. C. (2012). Application of FMEA Method in Product Development Stage. *Academic Journal Of Manufacturing Engineering*, 10(3).

Burnak, N.(1997). Toplam Kalite Yönetimi -İstatistiksel Süreç Kontrolü-, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Yayınları, Eskişehir.

Chang, D. S., ve Paul Sun, K. L. (2009). Applying DEA to Enhance Assessment Capability of FMEA. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26(6), 629-643.

Chen, C. C. (2013). A Developed Autonomous Preventive Maintenance Programme Using RCA and FMEA. *International Journal Of Production Research*, 51(18), 5404-5412.

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2013.775521>

adresinden 04.08.2016 tarihinde alınmıştır.

Chin, K. S., Chan, A., ve Yang, J. B. (2008). Development of a Fuzzy FMEA Based Product Design System. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(7-8), 633-649.

Chao.L.P, ve Ishii. K., (2007). Design Process Error Proofing: Failure Modes and Effects Analysis of the Design Process”. *Journal of Mechanical Design*. Vol. 129 Issue 5, pp. 491-501.

Cornes, R., ve Stockton, T. R. (1998). Fmea as An Integral Part of Vessel Design And Construction:Producing a Fault Tolerant Dp Vessel. *In Dynamic Positioning Conference*.

<http://dynamic-positioning.com/proceedings/dp1998/Dcornes1.pdf> adresinden 02.04.2016 tarihinde alınmıştır.

Degu, Y. M., ve Moorthy, R. S. (2014). Implementation of Machinery Failure Mode and Effect Analysis in Amhara Pipe Factory PLC, Bahir Dar, Ethiopia. *American Journal Of Engineering Research (AJER)* E-ISSN, 2320-0847.

[http://www.ajer.org/papers/v3\(1\)/Book-V3-I.1.pdf](http://www.ajer.org/papers/v3(1)/Book-V3-I.1.pdf) adresinden 03.05.2016 tarihinde alınmıştır.

Department of Defense (1980), *MIL-STD-1629A: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*. Washington, DC

<http://www.corpsriskanalysisgateway.us/data/docs/ref/Explore%20Resources/Mil-Std-1629A.pdf> adresinden 03.03.2016 tarihinde alınmıştır.

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)*, 4th ed., Chrysler LLC Ford Motor Company General Motors Corporation, Germany

Ebrahimipour, V., Rezaie, K., ve Shokravi, S. (2010). An Ontology Approach To Support FMEA Studies. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 671-677.

www.elsevier.com/locate/eswa adresinden 23.06.2016 tarihinde alınmıştır.

Elliott, J.B. (1998), *Risk Analysis - Two Tools You Can Use to Assure Product Safety and Reliability*, The Validation Consultant, Booth Scientific Inc., p.12.

- Erginel, N., M., (1999), Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği İçin Bir Model ve Uygulaması, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Cilt: 15, Sayı: 3 (17-26), Makine Mühendisliği Odası
- Eubanks, C. F., Kmenta, S., ve Ishii, K. (1997). Advanced Failure Modes and Effects Analysis Using Behavior Modeling. *In ASME Design Engineering Technical Conferences*(pp.14-17).
<http://www.medicalhealthcarefmea.com/papers/1997.ASME.DTM.Eubanks.pdf> adresinden 13.08.2016 tarihinde alınmıştır.
- Fiat Group Automobiles Norms 00271. (1994). *Process FMEA*
- Fiat Group Automobiles Norms 00270. (2012). *Internal and External Project FMEA*
- Franceschini, F., ve Galetto, M. (2001). A New Approach For Evaluation of Risk Priorities of Failure Modes in FMEA. *International Journal of Production Research*,39(13),2991-3002.
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540110056162?journalCode=tpsr20> adresinden 14.07.2016 tarihinde alınmıştır.
- Ford Motor Company, (2011). *Failure Mode and Effects Analysis, FMEA Handbook* 4.2
- General Motors Corporation, (2008).*Global Supplier Quality Manuel* GM-1927-21
http://gmavtovaz.ru/files/treb_ru/GM1927_Global_Supplier_Quality_Manual.pdf adresinden 15.09.2016 tarihinde alınmıştır.
- General Motors Company, (2015). *GM Customer Specifics ISO TS 16949*
http://www.iatfglobaloversight.org/docs/GM%20Customer%20Specifics_rev%2005-07-15.pdf adresinden 12.11.2016 tarihinde alınmıştır.

Geum, Y., Cho, Y., ve Park, Y. (2011). A Systematic Approach for Diagnosing Service Failure: Service-Specific FMEA and Grey Relational Analysis Approach. *Mathematical And Computer Modelling*, 54(11), 3126-3142.

Gilchrist, W. (1993). Modelling Failure Modes and Effects Analysis. *International Journal Of Quality & Reliability Management*, 10(5).

<http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/02656719310040105>

adresinden 07.11.2016 tarihinde alınmıştır.

Ionescu, N., ve Vişan, A. (2011). Methodology of Using Fmea in Product Development. *Academic Journal Of Manufacturing Engineering*, 9(1).

IATF 16949:2016 Kalite Yönetim Sistem Standartları (2016)

Juhaszova, D. (2013). Failure Analysis in Development & Manufacture for Customer. *Quality Innovation Prosperity*, 17(2), 89-102.

Kmenta, S., ve Ishii, K. (2000). Scenario-Based FMEA: A Life Cycle Cost Perspective. *In Proc. ASME Design Engineering Technical Conf. Baltimore, MD.* <http://www.medicalhealthcarefmea.com/papers/kmenta.pdf> adresinden 13.010.2016 tarihinde alınmıştır.

Korenko, M., Krocko, V., ve Kaplík, P. (2012). Use of FMEA Method in Manufacturing Organization. *Journal Of Manufacturing And Industrial Engineering*, 11(2), 48-50. <http://www.fvt.tuke.sk/journal/pdf12/2-pp-48-50.pdf> adresinden 22.10.2016 tarihinde alınmıştır.

Kuvvetli, Ü. (2008). *Failure Modes And Effects Analysis (Fmea) in Statistical Models*, Published Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

- Łuczak, J., ve Wolniak, R. (2015). Problem-Solving and Developing Quality Management Methods and Techniques on The Example Of Automotive Industry. *Manager Journal*, 22(1), 237-250.
- Mansur, A. (2016). Plastic Injection Quality Controlling Using the Lean Six Sigma and FMEA Method. In IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering* (Vol. 105, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/105/1/012006/meta>
adresinden 11.11.2016 tarihinde alınmıştır.
- Meng Tay, K., ve Peng Lim, C. (2006). Fuzzy FMEA with a Guided Rules Reduction System for Prioritization of Failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(8), 1047-1066.
- Mc Dermott, R.E., Mikulak, B.J. ve Baeuregard, M.R. (1996). *The Basics of FMEA*. Productivity Press, Portland.
- MFMEA, (2012) Potential Failure Mode and Effects Analysis (AIAG) *FMEA for Tooling & Equipment. Machinery FMEA*. Second Edition
- Narayanagounder, S., ve Gurusami, K. (2009). A new approach for prioritization of failure modes in design FMEA using ANOVA. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49(524-31).
- Özyazgan, V., (2014). FMEA Analysis and Implementation in a Textile Factory Producing Woven Fabric, *Journal of Textile and Apparel*, 24 (3): 303- 308.
- Pantazopoulos, G. ve Tsinopoulos, G. (2005). Process Failure Modes and Effects Analysis (PFMEA): A Structured Approach for Quality Improvement in The Metal Forming Industry”, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Volume 5, Issue 2, pp. 5-10

- Pentti, H., ve Atte, H. (2002). Failure Mode and Effects Analysis of Software-Based Automation Systems. *VTT Industrial Systems*, STUK-YTO-TR, 190, 190. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.1037&rep=rep1&type=pdf> adresinden 18.11.2016 tarihinde alınmıştır.
- Pillay, A., ve Wang, J. (2003). Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79(1), 69-85. https://www.researchgate.net/publication/222198917_Modified_failure_mode_and_effects_analysis_using_approximate_reasoning adresinden 02.10.2016 tarihinde alınmıştır.
- Prajapati, D. R. (2012). Implementation of Failure Mode and Effect Analysis: A Literature Review. *International Journal of Management, IT and Engineering*, 2(7),264-292. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.375.499&rep=rep1&type=pdf> adresinden 09.09.2016 tarihinde alınmıştır.
- Price, C. J., Snooke, N., Pugh, D. R., Hunt, J. E., ve Wilson, M. S. (1997). Combining Functional and Structural Reasoning for Safety Analysis of Electrical Designs. *The knowledge engineering review*, 12(03), 271-287.
- Ravi S. N., ve Prabhu, B. S. (2001). Modified Approach for Prioritization of Failures in A System Failure Mode and Effects Analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18(3), 324-336.
- Renault Standard 01-33-200/--C , (2011). *Design And Process Fmea (Failure Mode Effects And Criticality Analysis)*
- Rhee, S. J., ve Ishii, K. (2003). Life Cost-Based FMEA Using Empirical Data. In *ASME 2003 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. 167-175). American Society of Mechanical Engineers.

- Santos, F. R. S. D., ve Cabral, S. (2008). FMEA and PMBOK Applied to Project Risk Management. *JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management*, 5(2), 347-364.
- Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, A., ve Arena, F. (2002). FMEA Methodology Design, Implementation and Integration With HACCP System in A Food Company. *Food control*, 13(8), 495-501.
- Segismundo, A. ve Miguel, A. C. P. (2008). Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) in The Context of Risk Management in New Product Development: A Case Study in An Automotive Company. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Volume 25, Issue 9, pp. 899 - 912.
- Shafiee, M., ve Dinmohammadi, F. (2014). An FMEA-Based Risk Assessment Approach for Wind Turbine Systems: A Comparative Study of Onshore and Offshore. *Energies*, 7(2), 619-642. <http://www.mdpi.com/1996-1073/7/2/619/htm> adresinden 17.10.2016 tarihinde alınmıştır.
- Shahin, A. (2004). Integration of FMEA and the Kano model: An Exploratory Examination. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(7), 731-746.
- Shishebori, D., Akhgari, M. J., Noorossana, R., ve Khaleghi, G. H. (2015). An Efficient Integrated Approach to Reduce Scraps of Industrial Manufacturing Processes: A Case Study From Gauge Measurement Tool Production Firm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 831-855. <http://link.springer.com/article/10.1007/s00170-014-6273-x> adresinden 03.11.2016 tarihinde alınmıştır.
- Society of Automotive Engineers (SAE J1739). (2008). *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and*

Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA). SAE International.

Society of Automotive Engineers (SAE J1739). (2009). *Potential Failure Mode And Effects Analysis in Design, Potential Failure Mode And Effects Analysis in Manufacturing And Assembly Processes*, SAE International

Sofyalioglu, Ç. (2011). Süreç Hata Modu Etki Analizini Gri Değerlendirme Modeli. *Ege Akademik Bakış*, 11(1), 155-164.

Stamatis, D. H. (1995). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQ Quality Press.

Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode And Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQ Quality Press.

Standard Volvo Group (2009). STD 105-0005

<https://webstd.volvo.com/webstd/docs/105-0005.pdf> adresinden 14.10.2016 tarihinde alınmıştır.

Taş, Y., (2010). *Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) Tekniğinin Mobilya Endüstrisine Yönelik Bir Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Taşan, K. (2006). *Bir güvenilirlik ve risk değerlendirme metodu olarak hata türü ve etkileri analizi (HTEA) yöntemi: Br otomotiv yan sanayi işletmesinde uygulanması* Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü.

Teixeira, H. N., Lopes, I. S., ve Sousa, S. D. (2012). A Methodology for Quality Problems Diagnosis in SMEs. In proceedings of ICIESM 2012: *Int Conf on Industrial Engineering and Systems Management* (pp. 794-799).

<http://www.waset.org/publications/7962> adresinden 10.08.2016 tarihinde alınmıştır.

Tunçelli, S.B., (2006). *Helikopter Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Kavram Hata Türü Ve Etkiler Analizi (HTEA)*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

TÜVRheinland (2015). *FMEA Eğitim Notları*, İstanbul

Ullah, A.S.M., (2015). Creation and Implementation of Process FMEA with Focus on Risk Reduction for Packaging Process. *Culminating Projects in Mechanical and Manufacturing Engineering*. Paper 9

Vahdani, B., Salimi, M., ve Charkhchian, M. (2015). A New FMEA Method by Integrating Fuzzy Belief Structure and TOPSIS to Improve Risk Evaluation Process. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 77(1-4), 357-368.

<http://link.springer.com/article/10.1007/s00170-014-6466-3> adresinden 23.08.2016 tarihinde alınmıştır.

Verband der Automobilindustrie (VDA-4). (2012). *Quality Management in the Automobile Industry*. - Volume4: Product and Process FMEA, 1-70

Vykydal, D., Plura, J., Halfarová, P., ve Klaput, P. (2015). Advanced Approaches to Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Applications. *Metalurgija*, 54(4), 675-678.

Welborn C., ve Boraiko C., (2009). Proactive Safety Engage Employees in Failure Modes and Effects Analysis to Improve Safety, *American Society of Safety Engineers*, 37-41

- Wu, Z., Ming, X. G., Song, W., Zhu, B., ve Xu, Z. (2014). Nuclear Product Design Knowledge System Based on FMEA Method in New Product Development. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(3), 2191-2203.
- Wyatt, D. P. (2005). The Contribution of FMEA and FTA to Performance Review and Auditing of Service Life Design Constructed Assets. *Proceedings of the 10th Durability of Building Materials and Components (10DBMC)*, Lyon, France, 17-20.
- Xiaoxiao, H., Yongman, Z., ve Bin, H. (2016). Research on Failure Mode And Effects Analysis Based on Quality and Cost. *Metallurgical and mining industry*, (1), 214-222.
- Yeh, R. H., ve Hsieh, M. H. (2007). Fuzzy Assessment of FMEA for A Sewage Plant. *Journal of the Chinese institute of industrial engineers*, 24(6), 505-512.
- Yılmaz, H. (2012), “Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrolü: Bir Hastane Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yusoff, W., Yusmawiza, W. A., Sa’edun, M., ve Afiq, F. (2009). The Application of Rapid Prototyping Technology and FMEA Quality Tool in The Development Of Automotive Component.
http://irep.iium.edu.my/5960/1/Paper_ID906afiq.pdf adresinden 18.08.2016 tarihinde alınmıştır.
- Zhao, X. (2011). A Process Oriented Quality Control Approach Based on Dynamic SPC and FMEA Repository. *International Journal Of Industrial Engineering*, 18(8).

Zalewski, J., Ehrenberger, W., Saglietti, F., Górski, J., ve Kornecki, A. (2003). Safety of Computer Control Systems: Challenges and Results in Software Development. *Annual Reviews in control*, 27(1), 23-37.

Zhou, J., ve Stalhane, T. (2004). A Framework for Early Robustness Assessment. In *IASTED Conf. on Software Engineering and Applications* (pp. 264-268).


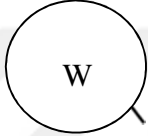
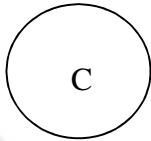
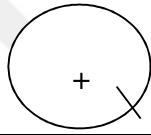
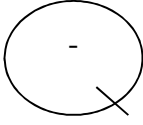
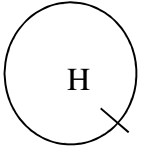
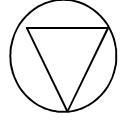
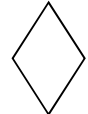
<http://www.lfma.ford.com/> Erişim tarihi: 02.08.2016

http://thequalityportal.com/p_diagram.htm Erişim tarihi : 29.09.2016

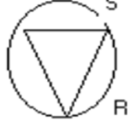
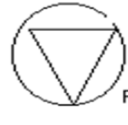
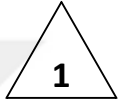

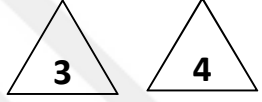
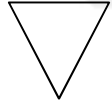


8. EKLER


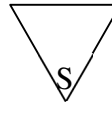
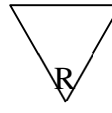
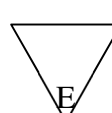
EK-1 Müşteri Özel Karakteristik Tanımlamaları

FİRMA	ÖZELLİK	PARÇA İŞARETİ	ÖZEL KARAKTERİSTİK İŞARETİ
VDA	Kritik		§
	Önemli		sc/f
	Anahtar		
	Normal		Sembol yok
FIAT	Yasal Zorunluluk		-
	Kritik		
	Önemli		
	İkincil		
	H Karakteristik		
GM	Emniyet/Yasal/Zorunlu	S/C	-
	Kritik		
	Önemli		

EK-1 Devam-Müşteri Özel Karakteristik Tanımlamaları

FİRMA	ÖZELLİK	PARÇA İŞARETİ	ÖZEL KARAKTERİSTİK İŞARETİ
RENAULT	Emniyet		-
	Yasal Zorunlu		-
	Kritik		
	Önemli		
	Standart		
FORD	Kritik	-	CC  (Proses)
	Önemli	-	SC (Proses)
	Yüksek Etki	-	HI (Proses)
	Operatör Güvenliği	-	OS
	Potansiyel Kritik	-	YC (Dizayn)
	Potansiyel Önemli	-	YS (Dizayn)
BMW	Kritik / Emniyet	D / S	-
	Yasal Zorunlu	L	-
VW-AUDI	Kritik / Emniyet	C / D	-
	Yasal Zorunlu	TLD	-

EK-1 Devam-Müşteri Özel Karakteristik Tanımlamaları

FİRMA	ÖZELLİK	PARÇA İŞARETİ	ÖZEL KARAKTERİSTİK İŞARETİ
DAIMLER - MERCEDES	Kritik / Emniyet	DS	-
	Yasal zorunlu	DZ	-
CRYSLER	Emniyet	<S>	-
	Yasal zorunlu	S	-
	Kritik		<D>
	Önemli		
	Önemsiz		İşareti yok
WEBASTO		CC	-
		SC	-
			WSC
			YC
			YS
TOYOTA	Emniyet		-
	Yasal zorunlu		-
	Çevresel etki		-

EK-2 Proses FMEA Çalışma Formu

Çekirdek Ekip:

FMEA Kordinatörü; Laboratuvar Sorumlusu; Karışım hazırlama Ekip lideri; İş güvenliği Sorumlusu; Karışım Hazırlama Sorumlusu; Kalite Mühendisi; Proses Mühendisi; Giriş Kalite Sorumlusu; Üretim Sorumlusu; Hammadde Sorumlusu

Process	Process Function/R equirement/ Step	Potential Failure Modes	Max Sev	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Clas s	Potential Cause / Mechanism of Failure	Oc c	Current Process Controls (Prevention)	Current Process Controls (Detection)	De t	RPN	Recommendations	Responsibil ity	After Actions Taken																																
															Se v	Oc c	De t	RPN	% Reduction																												
1. Tartım ve Ölçüm	1. Reçeteye uygun malzeme seçimi ve tartımı	1. Yanlış malzeme (bileşen) seçimi (Doğru malzemenin kullanılmaması)	7	Proses ETKİ Proseste karışımın tamamı kullanılamaz olabilir.	7		Seçim işleminin manuel olarak operatör ile yönetilmesi	5	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	350	Kontrol planı oluşturularak Operatörün gözle kontrolü eklenmesi	Kalite	7	2	6	84	76 %																												
				İç Müşteriye ETKİ Üretilen ürün % 100 hurda olabilir	7								Malzeme seçimine bağlı barkodlama vb otomatik sistem entegrasyonu	Proses Mühendisliği																																	
				Müşteriye ETKİ: Araçta fonksiyonel problem	7								Hammadeden gelen malzemenin üzerinde yanlış etiket olması	3	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	210		Hammadeden trackerla etiketleme	IT	7	3	5	105	50 %																					
					7								Geri iadelerde yanlış etiketleyip gönderme	2		Mevcut proseste kontrol yok.Hammadde depoda Etiketleme ve gramaj kontrolü var	8	112		İade yöntemi tanımlanmalıdır.	Üretim ve Hammadde depo	7	2	6	84	25 %																					
		2. Uygun olmayan ölçüm aletinin kullanılması	7	Proses ETKİ; Proseste karışımın tamamı kullanılamaz olabilir.	7	Ölçüm aletinin Kalibrasyonsuz olması ve takip eksikliği- kalibrasyona kayıtlı olmaması	9		Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	630	Ölçüm kaplarının kalibrasyonlarının yapılarak takibi	Kalibrasyon	7	3	10	210	66,7 %																												
																				İç Müşteriye ETKİ Yarımamul % 100 hurda olabilir	7	Tanımlı etiketleme olmaması	8	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	560	Kodlama(vb) ile beherlerin tanımlanıp ayrılması	Proses Mühendisliği	7	4	10	280	50 %													
																																			Kaplarnın temiz olmaması	7	Kontrol Yok	Operatör insiyatifi ile periyodik olmayan	9	441	Periyodik temizlik kontrolü	Kalite	7	4	6	168	61,9 %

Çekirdek Ekip:

FMEA Kordinatörü; Laboratuvar Sorumlusu; Karışım hazırlama Ekip lideri; İş güvenliği Sorumlusu; Karışım Hazırlama Sorumlusu; Kalite Mühendisi; Proses Mühendisi; Giriş Kalite Sorumlusu; Üretim Sorumlusu; Hammadde Sorumlusu

Process	Process Function/Requirement/Step	Potential Failure Modes	Max Sev	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Clas s	Potential Cause / Mechanism of Failure	Oc c	Current Process Controls (Prevention)	Current Process Controls (Detection)	De t	RPN	Recommendations	Responsibility	After Actions Taken				
															Se v	Oc c	De t	RPN	% Reduction
				Müşteriye ETKİ;Sızdırmazlık Problemi yaratır.						şekilde zaman zaman temizlik			tanımlanacak- Kontrol planına eklenmesi						
		3. Fazla/Eksik tartım yapılması		Proses ETKİ Proseste karışımın tamamı kullanılamaz olabilir.	7		Yöntem hatası (ikinci malzemenin ana malzemeye katılma riski)		Kontrol Yok	Kontrol Yok			Metod tanımlaması yapılarak standartlaştırılacak	Proses Mühendisliği					
				İç Müşteriye ETKİ Yarımamul % 100 hurda olabilir	7			5			10	350	Metoda ilişkin eğitimler verilecek	Üretim ve Proses mühendisliği	7	3	6	126	64 %
				Müşteriye ETKİ; Sızdırmazlık Problemi yaratır.									Otomatik sırayla bileşenlerin karışıma dahil edilmesi	Proses Mühendisliği					
			7				Hassas terazinin uygun ölçüm yapmaması		Kontrol Yok	Kontrol Yok			Kalibrasyon sistemine dahil olmaması	Kalibrasyon					
					7			4			10	280	Terazinin yerinin sabitlenmesi	Karışım hazırlama (Üretim)	7	2	6	84	70 %

Çekirdek Ekip:

FMEA Kordinatörü; Laboratuvar Sorumlusu; Karışım hazırlama Ekip lideri; İş güvenliği Sorumlusu; Karışım Hazırlama Sorumlusu; Kalite Mühendisi; Proses Mühendisi; Giriş Kalite Sorumlusu; Üretim Sorumlusu; Hammadde Sorumlusu

Process	Process Function/R equirement/ Step	Potential Failure Modes	Max Sev	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Clas s	Potential Cause / Mechanism of Failure	Oc c	Current Process Controls (Prevention)	Current Process Controls (Detection)	De t	RPN	Recommendations	Responsibility	After Actions Taken									
															Se v	Oc c	De t	RPN	% Reduction					
							Operatör hatası (Ölçüm aleti okuma vb)	4	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	280	Yetkinliklerin oluşturulup eğitimlerin tanımlanarak verilmesi (Polivalans)	İK ve Üretim	7	2	10	140	50 %					
							Ölçüm biriminin karışık olması (gr-Ml)	3	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	210	Talimatlarda tek ölçü biriminin kullanılarak tanımlanması ve ölçü kaplarının ayarlanması	Laboratuvar	7	2	6	84	60 %					
2. Hazırlama	1. Talimata uygun proses şartlarını oluşturmak	1. Karışım sıralamasının karıştırılması	7	Proses ETKİ Proseste karışımın tamamı kullanılamaz olabilir.	7	Operatör hatası (Formülün yanlış okunması)- Yetkin personel olmaması)	4	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	280	Yetkinliklerin oluşturulup eğitimlerin tanımlanarak eğitim verilmesi (Polivalans)	İK ve Üretim	7	2	8	112	60 %						
				İç Müşteriye ETKİ Yarımamul % 100 hurda olabilir	7		Uygulamanın Manuel olması							4	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	280	Proses Mühendisliği	7	1	10	70	75 %
				Müşteriye ETKİ; Sızdırmazlık Problemi yaratır.	7																			
		2. Köpük olması	7	Proses ETKİ Proseste karışımın tamamı kullanılamaz olabilir.	7	Karışım süresinin standart ayarlanamaması	6	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	420	Otomatik süre ölçümü ve kilitleme sistemi	Proses Mühendisliği	7	1	10	70	83,3 %						
				İç Müşteriye ETKİ Yarımamul % 100 hurda olabilir	7	Karışım hızının uygun olmaması	7							Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	490	Karışım hızının belirlenmiş hızlarda standart yapılması ve otomatik yönetilerek -	Proses Mühendisliği	7	1	10	70	85,7 %

Çekirdek Ekip:

FMEA Kordinatörü; Laboratuvar Sorumlusu; Karışım hazırlama Ekip lideri; İş güvenliği Sorumlusu; Karışım Hazırlama Sorumlusu; Kalite Mühendisi; Proses Mühendisi; Giriş Kalite Sorumlusu; Üretim Sorumlusu; Hammadde Sorumlusu

Process	Process Function/R equirement/ Step	Potential Failure Modes	Max Sev	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Clas s	Potential Cause / Mechanism of Failure	Oc c	Current Process Controls (Prevention)	Current Process Controls (Detection)	De t	RPN	Recommendations	Responsibil ity	After Actions Taken				
															Se v	Oc c	De t	RPN	% Reduction
													kilitleme sistemi ile garanti altına alınması						
				Müşteriye ETKİ; Sızdırmazlık Problemi yaratır.		7	Proses şartlarının standart olmaması	6	Kontrol Yok	Kontrol Yok		10 420	Proses şartlarının belirlenerek tanımlanması- KP oluşturulması	Proses Mühendisli ği-Kalite	7	3	6	126	70 %
						7	Ortam koşullarının uygunsuzluğu	4	Kontrol Yok	Kontrol Yok		10 280	Klima ile ortam şartlarının standart hale getirilmesi	Bakım	7	2	6	84	70 %
						7	Pervane seçiminin tanımlı ve standart olmaması	4	Kontrol Yok	Kontrol Yok		10 280	Pervane seçimini tanımlamak ve tek tip pervane uygulamasına geçmek	Proses Mühendisli ği	7	2	6	84	70 %
		3. Homojen karışım olmaması- Partikül olması		Proses ETKİ Proseste karışımın tamamı kullanılamaz olabilir.		7	Karışım süresinin standart ayarlanamaması	6	Kontrol Yok	Kontrol Yok		10 420	Otomatik süre ölçümü ve kilitleme sistemi	Proses Mühendisli ği	7	1	10	70	83,3 %
			7	İç Müşteriye ETKİ Yarımamul % 100 hurda olabilir		7	Karışım hızının uygun olmaması	7	Kontrol Yok	Kontrol Yok		10 490	Karışım hızının belirlenmiş hızlarda standart yapılması ve otomatik yönetilerek - kilitleme sistemi ile garanti altına alınması	Proses Mühendisli ği	7	1	10	70	85,7 %
				Müşteriye ETKİ; Sızdırmazlık Problemi yaratır.		7	Ortam koşullarının uygunsuzluğu	4	Kontrol Yok	Kontrol Yok		10 280	Klima ile ortam şartlarının standart hale getirilmesi	Bakım	7	2	6	84	70 %

Çekirdek Ekip:

FMEA Kordinatörü; Laboratuvar Sorumlusu; Karışım hazırlama Ekip lideri; İş güvenliği Sorumlusu; Karışım Hazırlama Sorumlusu; Kalite Mühendisi; Proses Mühendisi; Giriş Kalite Sorumlusu; Üretim Sorumlusu; Hammadde Sorumlusu

Process	Process Function/Requirement/Step	Potential Failure Modes	Max Sev	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Clas s	Potential Cause / Mechanism of Failure	Oc c	Current Process Controls (Prevention)	Current Process Controls (Detection)	De t	RPN	Recommendations	Responsibility	After Actions Taken				
															Se v	Oc c	De t	RPN	% Reduction
							Pervane seçiminin tanımlı ve standart olmaması	4	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	280	Pervane seçimini tanımlamak ve tek tip pervane uygulamasına geçmek	Proses Mühendisliği	7	2	6	84	70 %
							Karışım kaplarında kapakların açık olması- Uygun kapak olmaması	6	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	420	Kapakların gözden geçirilerek menteşeli - açılıp kapanabilir hale getirilmesi	Proses Mühendisliği	7	3	7	147	65 %
		4. Karışım bozulması		Proses ETKİ Proses te karışımın tamamı kullanılamaz olur.	7		Malzemenin açılmasından sonra bekleme koşullarının uygunsuzluğu		Kontrol Yok	Kontrol Yok			Talimatlara bekleme koşullarının tanımlanarak operatörlere eğitim verilmesi	Laboratuvar					
			7	İç Müşteriye ETKİ Yarımamul % 100 hurda olabilir	7			7			10	490	Etiketleme ve barkodlama ile ömür tayini sağlanması	Proses Mühendisliği	7	2	5	70	85,7 %
				Müşteriye ETKİ; Sızdırmazlık Problemi yaratır.	7														
		5. Reçeteye uygun olmayan karışım		Proses ETKİ Proses te karışımın tamamı kullanılamaz olur.	7		Bileşenlerin sıralamasının karıştırılması	3	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	210	Otomatik sırayla bileşenlerin karışıma dahil edilmesi	Proses Mühendisliği	7	1	8	56	73,3 %
			7	İç Müşteriye ETKİ Yarımamul % 100 hurda olabilir	7		Bileşen miktarlarının standart ayarlanamaması	4	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	280	Miktarların tanımlanmış reçeteye göre sistemden otomatik alınarak sırası gelmeyen malzemenin karışıma	Proses Mühendisliği	7	1	8	56	80 %

Çekirdek Ekip:

FMEA Kordinatörü; Laboratuvar Sorumlusu; Karışım hazırlama Ekip lideri; İş güvenliği Sorumlusu; Karışım Hazırlama Sorumlusu; Kalite Mühendisi; Proses Mühendisi; Giriş Kalite Sorumlusu; Üretim Sorumlusu; Hammadde Sorumlusu

Process	Process Function/R equirement/ Step	Potential Failure Modes	Max Sev	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Clas s	Potential Cause / Mechanism of Failure	Oc c	Current Process Controls (Prevention)	Current Process Controls (Detection)	De t	RPN	Recommendations	Responsibility	After Actions Taken				
															Se v	Oc c	De t	RPN	% Reduction
													girmemesi ve kilitleme sistem entegrasyonu						
				Müşteriye ETKİ; Sızdırmazlık Problemi yaratır.	7		Bileşen miktarlarının manuel sağlanması	5	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	350	Miktarların tanımlanmış reçeteye göre sistemden otomatik alınarak sırası gelmeyen malzemenin karışıma girmemesi ve kilitleme sistem entegrasyonu	Proses Mühendisliği	7	1	7	49	86 %
3. Kontrol Ambalaj	1. Reçete ve Talimata uygun karışım hazırlamak	1. Proses sonrası Malzemeye ait testlerin olmaması	7	Proses ETKİ Proseste karışımın tamamı kullanılamaz olabilir.	7		Kontrol planı olmaması ve testlerin tanımlanmamış olması	7	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	490	Viskozite testlerinin tanımlanması	Laboratuvar	7	4	5	140	71,4 %
				İç Müşteriye ETKİ Yarımamul % 100 hurda olabilir	7								Katı madde testlerinin tanımlanması	Laboratuvar					
				Müşteriye ETKİ; Sızdırmazlık Problemi yaratır.	7								Yoğunluk testlerinin tanımlanması	Laboratuvar					
													Kontrol planında Tortu (dibe çökme) kontrolünün tanımlanması	Kalite					
4. Malzeme Transferi	1. Malzemenin tanımlanması	1. Yabancı madde bulaşması	7	Proses ETKİ Proseste karışımın bir kısmı kullanılamaz olabilir.	6		Taşıma kaplarının kapaksız olması	7	Kontrol Yok	Kontrol Yok	10	490	Taşıma kaplarının belirlenmesi, standart ve tanımlı olması	Proses Mühendisliği	7	3	6	126	74,3 %

EK-3. Kaplama Hazırlama Proses- Öncesi



EK-4. Kaplama Hazırlama Proses- Sonrası