



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ VE
DÖKÜM SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Sariye ŞENÇOBAN KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği

Mayıs-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sariye ŞENÇOBAN KAYA tarafından hazırlanan “HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ VE DÖKÜM SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı / oy çokluğı ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

Üye

Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Sariye ŞENÇOBAN KAYA

Tarih: 21.05.2019

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ VE DÖKÜM SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA****Sariye ŞENÇOBAN KAYA****Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisi Anabilim Dalı****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN****2019, 71 Sayfa****Jüri****Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN****Prof. Dr. Mehmet AKTAN****Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN**

Günümüz küresel rekabet ortamında, her alanda rekabet üstünlüğü sağlamak işletmelerin temel hedeflerinden biri haline gelmiştir. Firmalar pazarda kendi sektörlerinde yer edinebilmek ve kalıcı olabilmek için müşteri beklentilerini dikkate alarak, müşteri memnuniyetlerini en üst düzeyde tutmak zorundadırlar. Bu nedenle müşterilere daha kaliteli ürün sunmak, tek seferde hatasız ve doğru ürünü üretmek işletmeler için vazgeçilmez bir unsurdur. İşletmeler kalite seviyelerini daha ileriye taşımak için pek çok yöntem kullanmaktadırlar. Bu yöntemlerden biri de mevcut hataları ya da potansiyel hataları ortaya çıkarmadan belirlemeyi ve önlemeyi veya nihai kullanıcıdaki etkisini ortadan kaldırmayı amaçlayan bir teknik olan hata türü ve etkileri analizi (FMEA) yöntemidir.

Bu çalışmadaki bilgiler döküm sektöründe üretilen, bir üretim parçasının imalat aşamasındaki iş akış şemaları ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak bir ekip tarafından analiz edilerek toplanmıştır.

Bu çalışmada kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan FMEA uygulaması üzerinde durulmuş ve FMEA çeşitleri anlatılmıştır. FMEA çeşitlerinden olan proses FMEA yöntemi ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve döküm sektöründe üretilen bir parçaya nasıl uygulandığı anlatılmıştır.

Öncelikle üretim parçasına ait iş akış şeması belirlenmiş daha sonra bu iş akış şemasına göre oluşabilecek hata türleri tanımlanıp, bu hata türlerinin nedenleri ve etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gerekli düzeltici faaliyetler tanımlanmıştır ve bu çalışma sonucunda elde edilen bilgiler proses FMEA tablosuna aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: FMEA, Proses FMEA, Servis FMEA, Sistem FMEA, Tasarım FMEA

ABSTRACT**MS THESIS****FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS AND AN APPICATION IN THE
CASTING****Sariye ŞENÇOBAN KAYA****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL ENGINEERING****Advisor: Assistant Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN****2019, 71 Pages****Jury****Assistant Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN****Prof. Dr. Mehmet AKTAN****Assoc. Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN**

In today's global competitive environment, ensuring competitive advantage in every field has become one of the main objectives of the enterprises. Companies have to keep their customer satisfaction at the highest level by taking into account customer expectations in order to be able to be in their own sectors and to be permanent in the market. Therefore, to provide customers with a better quality products, one-time error-free and accurate product is an indispensable element for businesses. Businesses use many methods to move their quality levels further. One of these methods is the technique of failure mode and effects analysis (FMEA), a technique that aims to identify and prevent existing failure or potential failures and eliminate the impact on the end user.

The information in this study was gathered by a team in detail, and the work flow diagrams and product information in the manufacturing phase of a production part were collected and analyzed by a team.

In this study, FMEA application which is one of the quality improvement methods is emphasized and FMEA types are explained. The FMEA process of FMEA is analyzed in detail and explained how it is applied to a part produced in the foundry sector.

First, the work flow chart of the production part is determined and then the failure types that can occur according to this work flow chart are defined and the causes and effects of these failure types are analyzed. According to the results of the analysis, necessary corrective actions have been defined and the information obtained as a result of this study has been transferred to FMEA table.

Keywords: Design FMEA, FMEA, Process FMEA, Service FMEA, System FMEA

ÖNSÖZ

Günümüz küresel rekabet ortamında kalite standartları işletmeler için vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Bu doğrultuda işletmeler kalite hedeflerini hep daha çok attırmaya yönelmektedir. Doğru ürünü sıfır hatayla ve doğru zamanda üretmek işletmelerin ana hedeflerinden biridir.

Sıfır hataya ulaşmak için kullanılacak analiz tekniklerinden biri de FMEA uygulamasıdır. Sistemde ya da proseste meydana gelebilecek hataları önceden tahmin ederek önlemeye çalışan FMEA uygulaması da bu anlamda çok önemli bir hal almıştır.

FMEA uygulamasının amaçları, sistemde veya proseste meydana gelebilecek hataları tanımlayarak, hataların oluşmasını önlemek, potansiyel hata türlerinin etkilerinin önem derecelerini belirleyerek gerekli düzeltici faaliyetleri alıp hataların müşteri üzerindeki etkilerini en aza indirmeyi amaçlar. Sürekli olarak hataların oluşma potansiyellerini azaltma ilkesine dayanır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana zaman ayırarak dinleyen ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu çalışmamın her aşamasında beni yalnız bırakmayan ve yazmam için sürekli teşvik ederek yardımlarını esirgemeyen çok değerli aileme ve kıymetli eşim Orman Endüstri Mühendisi Hasan KAYA'a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Sariye ŞENÇOBAN KAYA
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
ABSTRACT.....	2
ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER.....	4
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	6
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	7
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	8
GİRİŞ.....	9
1. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FMEA).....	11
1.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi Tanımları.....	11
1.2. FMEA'nın Amaçları.....	12
1.3. FMEA'nın Faydaları ve Uygulamada Karşılaşılan Zorluklar	13
1.4. FMEA'nın Uygulandığı durumlar	16
1.4.1. FMEA Ne Zaman Başlatılmalıdır?.....	16
1.4.2. FMEA Ne Zaman Sonlandırılmalıdır?	18
1.5. FMEA ile ilgili Kavramlar.....	18
1.6.FMEA'NIN Çeşitleri	20
1.6.1. Tasarım FMEA	23
1.6.2. Sistem FMEA	26
1.6.3. Servis FMEA	28
1.6.4. Proses FMEA.....	29
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	33
3. METARYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. MATERYAL	37
3.2. YÖNTEM	37
3.3. FMEA TEKNİĞİNİN UYGULAMA ADIMLARI.....	37
3.3.1. Proses Akış Aşamaları	38
3.3.2. Üretim Sürecinde Meydana Gelebilecek Hatalar, Nedenleri, Etkileri ve Mevcut Kontroller.....	41
3.3.3.Olasılık (Ortaya Çıkma) – Keşfedilebilirlik (Saptama) – Şiddet (Ağırlık) Değerlerinin Belirlenmesi ve Risk Öncelik Sayısının Belirlenmesi.....	44
3.3.4.Öncelikle Önlem Alınacak Hataların Belirlenmesi ve	49
Öngörülen Önlemler ve Yeni RÖS Değerleri.....	49
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	55

4.1. Alınan Önlemler Sonrası İçin Hesaplanan Yeni RÖS ile Eski RÖS'ün Karşılaştırılması	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
6. KAYNAKLAR	59
EKLER	61
ÖZGEÇMİŞ	68



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

APQP: İleri Ürün Kalite Planlaması
AIAG: Otomotiv Faaliyet Endüstri Faaliyet Grubu
ASQC: Amerikan Kalite Kontrol Topluluğu
CAD: Bilgisayar Destekli Tasarım
FMEA, HTEA: Hata Türleri ve Etkileri Analizi
K: Keşfedilebilirlik
MSA: Ölçüm Sistemleri Analizi
O: Ortaya Çıkma
PPAP: Üretim Parçası Onay Prosesi
RÖS: Risk Öncelik Sayısı
SPC: İstatistikî Proses Kontrol
Ş: Şiddet
TKY: Toplam Kalite Yönetimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.FMEA Yol Haritası

Şekil 1.2. FMEA Türleri ve Aralarındaki İlişki

Şekil 1.3. Tasarım FMEA Diyagramı

Şekil 1.4. Sistem ve Alt Sistem Arasındaki Etkileşim

Şekil 3.1. Döküm Parçası Akış Şeması



ÇİZELGELER DİZİNİ

- Çizelge 1.1. Tasarım ve Süreç FMEA arasındaki farklılıklar
- Çizelge 3.1. Hatanın ortaya çıkma sıklığı (Olasılığı)
- Çizelge 3.2. Hataların Ortaya Çıkma Olasılığı
- Çizelge 3.3. Keşfedilebilirlik (Saptama)
- Çizelge 3.4. Hataların Keşfedilebilirliği (Saptama)
- Çizelge 3.5. Şiddet (Ağırlık) Etkisinin Sınıflandırılması
- Çizelge 3.6. Hataların Şiddeti (Ağırlık)
- Çizelge 3.7. RÖS Değerine Göre Sıralanmış Hatalar
- Çizelge 4.1. Eski RÖS Değerleri ve Yeni RÖS Değerleri



GİRİŞ

Günümüz küresel rekabet ortamında, her alanda rekabet üstünlüğü sağlamak işletmelerin temel hedeflerinden biri haline gelmiştir. Firmalar pazarda kendi sektörlerinde yer edinebilmek ve kalıcı olabilmek için müşteri beklentilerini dikkate alarak, müşteri memnuniyetlerini en üst düzeyde tutmak zorundadırlar. Bu nedenle müşterilere daha kaliteli ürün sunmak, tek seferde hatasız ve doğru ürünü üretmek işletmeler için vazgeçilmez bir unsurdur. İşletmeler kalite seviyelerini daha ileriye taşımak için pek çok yöntem kullanmaktadırlar. Bu yöntemlerden biri de mevcut hataları ya da potansiyel hataları ortaya çıkmadan belirlemeyi ve önlemeyi veya nihai kullanıcıdaki etkisini ortadan kaldırmayı amaçlayan bir teknik olan hata türü ve etkileri analizi (FMEA) yöntemidir.

FMEA yöntemi, üretim ve montaj aşamalarında oluşabilecek potansiyel hata türlerini, nedenlerini ve bu hataların etkilerini tahmin ederek, olasılık, şiddet ve saptanabilirlik çarpanlarını hesaplayarak sistemin tamamı üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendirerek risk öncelik sayısını belirlemektedir. Bu risk öncelik sayısına göre gerekli düzeltici faaliyetleri alarak hatanın ortaya çıkmasını önlemeyi ve hatanın müşteri üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik faaliyetlerin yazılı hale getirildiği bir ekip çalışmasıdır.

Bu analizin amacı, üretim ve montaj aşamalarında oluşabilecek hata türlerinin ve nedenlerinin bir ekip tarafından analiz edilerek gerekli düzeltici önlemler alınarak bu hataların meydana gelmesini önlenmektir. FMEA yöntemi hataların sürekli olarak azaltılması ilkesine dayandığı için hatanın müşteri üzerindeki etkileri de azaltılmış olur. Bu yöntem sayesinde müşteri istek ve beklentileri sağlanmakta, üretim sürecindeki hata maliyetleri azaltılmakta, ürünün emniyet ve güvenilirliği sağlanmaktadır.

Bu çalışmada kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan proses FMEA, döküm sektöründe üretimi gerçekleştiren bir parça üzerinde uygulanmıştır. İlk olarak FMEA yönteminin tanımı, amacı ve çeşitleri anlatılmıştır. Daha sonra döküm sektöründe üretilen bir parçanın iş akış şeması belirlenmiş ve bu akış şemasına göre oluşabilecek hata türleri tanımlanıp, bu hata türlerinin nedenleri ve etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler tanımlanmıştır. FMEA yöntemi

ile hesaplanan yeni risk öncelik sayısı ile eski risk öncelik sayısı karşılaştırılarak hata türleri üzerindeki etkiler hesaplanmıştır. Bu analizin sonucunda hata türleri üzerinde yaklaşık %50 oranında iyileştirmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Son bölümde ise yapılan FMEA çalışmasının sonuçları analiz edilerek bu yöntemin uygulanmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.



1. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FMEA)

1.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi Tanımları

FMEA kavramı birçok kaynakta farklı şekillerde tanımlanmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır;

FMEA, sistem, tasarım, süreç veya hizmetten kaynaklanan potansiyel hataların değerlendirilmesini ve bu hataların (riskler, yanlışlıklar, problemler, vs.) devamlı olarak azaltılmasını hedefleyen özel bir mühendislik tekniğidir (Tunçelli, 2006).

FMEA, ürün müşteriye ulaşmadan önce sistemden, tasarımdan, süreçten veya servisten kaynaklanan var olan ya da olası hataların, problemlerin ve yanlışlıkların tanımlanmasına, belirlenmesine ve bu hataların ortadan kaldırılmasına yarayan özel bir metodolojidir (Aytaç, 2011).

Hata türü ve etkileri analizi, ürünün tasarım ve proses aşamalarındaki değişkenliklerini kontrol altında tutabilmek veya ortadan kaldırabilmek için kullanılan bir tasarım disiplini ve kalite aracıdır (Musubeyli, 2004).

FMEA, ürünün herhangi bir aşamasında meydana gelebilecek riskleri önceden tahmin ederek, hataları oluşmadan önlemeye yönelik güçlü bir analiz tekniğidir. Hatanın meydana gelmesi ile oluşabilecek tüm olumsuzlukların veya problemlerin müşteri gibi algılanması prensibine dayanmaktadır (Aran, 2006).

Hata türü ve etkileri analizi, ürünün tasarım ve üretim aşamalarıyla ilgili olarak ortaya çıkabilecek hata türlerinin ve bunların sebeplerinin, etkilerinin belirlenerek, değerlendirilmesi ve bu hataların oluşma riskini azaltacak faaliyetlerin belirlenmesi çalışmalarının yapılarak yazılı hale getirildiği bir grup çalışmasıdır (Algın, 2007).

FMEA, sistemde oluşabilecek hataları tanımlamak ve bu hataları önlemek için ürün tasarımının ve tasarım sonrasındaki süreçlerin analiz edilmesi amacıyla kullanılan tekniktir. Hata türü ve etkileri analizi tekniği hata türlerini ürün, süreç ya da hizmet aşamalarında tanımlayarak başlar. Proje ekibindeki kişiler ürünün, girdilerinden

başlayıp, nihai kullanıcı olan müşteriye ulaşıncaya kadar sistemin her ögesini analiz eder (Büyüktuna, 2012).

Kısaca hata türü ve etkileri analizinin tanımını şöyle özetleyebiliriz.

Hata türü ve etkileri analizi tekniği, ürünün tasarım ve tasarım sonrası tüm aşamalarında oluşabilecek potansiyel hata türlerini, nedenlerini ve bu hataların etkilerini tahmin ederek, olasılık, şiddet ve saptanabilirlik çarpanlarını hesaplayarak sistemin tamamı üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendirerek risk öncelik sayısını belirler. Bu risk öncelik sayısına göre gerekli düzeltici önleyici faaliyetleri alarak hatanın ortaya çıkmasını önlemeyi ve nihai kullanıcı olan müşterinin ürün üzerindeki güvenilirliğini arttırmaya yönelik faaliyetlerin yazılı bir belge haline getirildiği bir ekip çalışmasıdır.

1.2. FMEA'nın Amaçları

FMEA genel olarak; olası hataların veya var olan hatanın belirlenmesi, bu hataların önceliklerinin sıralanması, öncelik sırasına göre gerekli düzeltici faaliyetlerin alınarak hatanın müşteriye ulaşmadan önlenmesi konularına odaklanmaktadır (Taş, Koç, 2010).

Tüm bu odaklar çerçevesinde FMEA'nın amaçları, sistemde var olan veya olabilecek hataları analiz ederek ürünün kalite, emniyet ve güvenilirliğini sağlayarak hataların müşteriye ulaşmamasını ve müşteri memnuniyetini sağlamayı amaçlar.

FMEA'nın öncelikli amaçlarını şöyle sıralayabiliriz (Yılmaz, 2000).

- Ürün veya proste meydana gelebilecek hataları oluşmadan tahmin ederek, bu hataların oluşmasını önlemek.
- Ürün veya prostedeki olası hataların türlerini, etkilerini ve önem derecelerini karşılaştırmak.
- Ürünün, müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayıp karşılamadığından emin olmak için, sistemdeki imalat ve montaj prosesleri ile ilgili olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini belirlemek.

- Sistemde oluşabilecek hata türleri tanımlandığında, bu hataları ortadan kaldırmak için önem derecelerine göre gerekli önleyici ve düzeltici faaliyetleri almak veya devamlı olarak hataların meydana gelme potansiyellerini azaltmak.
- Montaj ve imalat süreçleri için, sistemin dayandığı ilkeleri ve nedenleri dokümante etmek.

1.3. FMEA'nın Faydaları ve Uygulamada Karşılaşılan Zorluklar

FMEA tekniğinin yararlarını; risk öncelik sayısına göre (RÖS) düzeltici faaliyetlerin önceliklerinin belirlenmesi, kritik karakteristiklerin belirlenmesi ve kontrol planları oluşturmada yardımcı olması, tasarım ve üretim prosesleri aşamasında potansiyel hataların belirlenmesi ve düzeltici önlemlerle ilgili planlar oluşturması olarak sıralamak mümkündür (Sofyalıoğlu, 2011).

FMEA tekniğinin uygulanması pek çok açıdan fayda sağlamaktadır. Bu faydalar aşağıdaki gibidir (Şamur, 2005).

- Kalite, emniyet, güvenilirlik ve üretim teknolojisi alanlarındaki zayıflıkların belirlemek ve gidermek,
- Kalıplarda ve donanımlarda oluşan değişkenliğin sayısını azaltmak,
- Oluşabilecek değişkenlik için harcanan zaman ve maliyetlerin azaltılması.
- Kontrol planı oluşturmada yardımcı olması,
- İç hurdalar ve israflarda azalma,
- Risklerin minimize edilmesi için alınan önlemlerin dokümantasyonu ve takibi,
- Ürün yükümlülüğünde daha az risk,
- Daha etkili muayene programlarının belirlenmesi,
- Beklenmeyen olayların veya hataların minimize edilmesi,
- Üretim ve hata maliyetinin azalması,
- Seri üretimin sorunsuz geçmesine yardımcı olur,
- Mühendislik değişkenliklerinin azaltılması,
- Problemlerin daha hızlı çözülmesi,

➤ Daha fazla müşteri memnuniyeti,

FMEA uygulamasının başarılı olup olmasındaki en önemli şartlardan biri de tekniğin doğru zamanda uygulanmasıdır. FMEA tekniği ürün ve proses geliştirmenin en erken aşamalarında yani hatalar ortaya çıkmadan önce uygulanmalıdır. Hatalar ortaya çıktıktan sonra uygulanan FMEA yarar sağlamayacaktır veya etkili sonuçlar ortaya koymayacaktır. FMEA tekniği, hatanın ortaya çıkmadan önce uygulandığında büyük fayda sağlayacaktır. Tasarım ve proses değişikliklerinin en kolay ve en az maliyetle oluşturulabileceği bir aşamada, FMEA'nın doğru ve düzenli bir şekilde uygulanması, ileriki zamanlarda oluşabilecek zorunlu tasarım veya proses değişikliklerini de o oranda azaltmaktadır. Böyle uygulanan FMEA, ileride oluşacak değişiklik ihtimalini de önlemekte veya azaltmaktadır. FMEA tekniğinin etkin bir şekilde uygulanması ile değişikliklerden kaynaklanan hatalar, problemler ve ek maliyetler de önlenmiş olur (Aran, 2006).

FMEA basit ve kolay uygulanabilir bir teknik olmasına rağmen, uygulamadaki bir takım özelliklerinden dolayı eleştirilere maruz kalmaktadır. Bu teknik ele alınması gereken hata türlerini önceliklendirmede, risk öncelik sayısını (RÖS) kullanır. Bu RÖS değeri ise “hatanın meydana gelme olasılığı”, “hatanın şiddeti” ve “fark edilmeme olasılığı” bu üç değerın çarpımı ile bulunur. Fakat bu tekniğin farklı risk faktörlerinin aynı RÖS değerini yani aynı önceliği alabilmesi ve risk faktörlerinin ağırlıklarının dikkate alınmaması gibi sakıncaları vardır. Örneğin; olasılık puanı 3, keşfedilebilirlik puanı 4, şiddet puanı 7 olan ve olasılık puanı 2, keşfedilebilirlik puanı 6, şiddet puanı 7 olan farklı iki hata türü aynı risk önceliğine sahip olabilmektedir. Bu üç faktörün yani olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik faktörlerinin eşit önem derecesinde olduğu kabul edilir, fakat bu durum uygulamada geçerli olmayabilir (Sofyalıoğlu, 2011).

RÖS (olasılık \times şiddet \times keşfedilebilirlik) hesabında sayısal verilerin elde edilmesi gerekmektedir. Fakat genellikle hazır veri yoktur veya var olan veriler güvenilir ve yeterli değildir. Bu gibi durumlarda alanında uzman kişiler bilgi ve tecrübelerine dayanarak, onlu skalada puanlama yaparak sayısal veriler oluşturmaktadır. Bu puanlama kişiler tarafından yapıldığı için subjektiflik (öznel) göstermekte, ciddi sapmalar olmakta ve uzlaşım güçlüğü yaşanmaktadır. Burada kişiler değerlendirme yaparken nicel ifade kullanmak yerine niteliksel ifadeler kullanma eğilimindedirler.

Kişilerin tecrübelerinden elde ettikleri bilgiler niteliksel olma özelliğinden dolayı (çok, az, çok az, ... gibi ifade edilen) “bulanık bilgiler” dir. Bu tür niteliksel ifadeli faktörlerin, olasılık kullanarak hesaplanan yöntemler ile doğrudan incelenmesi mümkün olmamaktadır (Aran, 2006).

FMEA tekniğinin uygulanmasında bazı zorluklar ile karşılaşılabilir. Bu zorlukların bazıları aşağıdaki gibidir (Aran, 2006).

- Kullanılacak veri kaynaklarının olmaması veya bu kaynakların eksik ve güvenilir olmaması,
- Ortak bir standart olmadığı için kavram kargaşasının oluşması,
- FMEA ekibinin içindeki ya da yönetim ve organizasyondaki kişilerin bu analizin kullanılmasında isteksizlik duymaları,

Bu tekniğin uygulanmasındaki en önemli zorluk kullanılacak verilerin olmaması veya eksik olmasından kaynaklanmaktadır. FMEA tekniği ile ilgili tüm verilerin eksiksiz bir şekilde girildiği veri tabanlarının olmaması tekniğin etkin olarak uygulanmasını zorlaştırır, sağlıklı sonuçlar alınmasını engeller (Aran, 2006).

Bu güçlüklerden dolayı FMEA tekniğini uygularken şunlara dikkat edilmelidir (Büyüktuna, 2012):

- Hata nedenlerinin tanımlanması ve bu hata türlerinin değerlendirilmesi objektif ve matematiksel olarak yapılmalıdır.
- Teknik, problem nedenlerinin önceliklendirilmesi yerine, çözüm önerilerinin önceliklendirilmesi ve ideal çözüm yönteminin belirlenmesine yönelik olmalıdır.
- Ekibin içine isteksiz kişiler alınmamalıdır.
- Karar verme süreci, ekibin içindeki kişilerin tecrübe seviyelerine göre gerçekleştirilmesinden uzaklaştırılmalıdır. Yani standartlaştırılmalıdır.
- Yöntem basit ve kolay uygulanabilir olmalıdır.

1.4. FMEA'nın Uygulandığı durumlar

FMEA tekniğinin uygulandığı durumlar aşağıda özetlenmiştir (Büyüktuna, 2012).

- Güvenlik ve emniyet ile ilgili fonksiyon ve parçalar söz konusu olduğu durumlarda,
- Hataların, ağır ve yüksek maliyet ile sonuçlanabileceği durumlarda,
- Yeni tasarımlar ve proses geliştirme durumlarında,
- Yeni malzeme, teknoloji ve proseslerde,
- Tasarım ve proses değişikliği olduğu durumlarda,
- Var olan ürünün yeni uygulama alanlarında,
- Seri üretim öncesi olası tasarım ve proses yetersizliklerinin belirlenmek istenmesi durumunda,
- Kalite bakımından yüksek riskli olan sorunlu proses ve parçalarda uygulanmaktadır.

1.4.1. FMEA Ne Zaman Başlatılmalıdır?

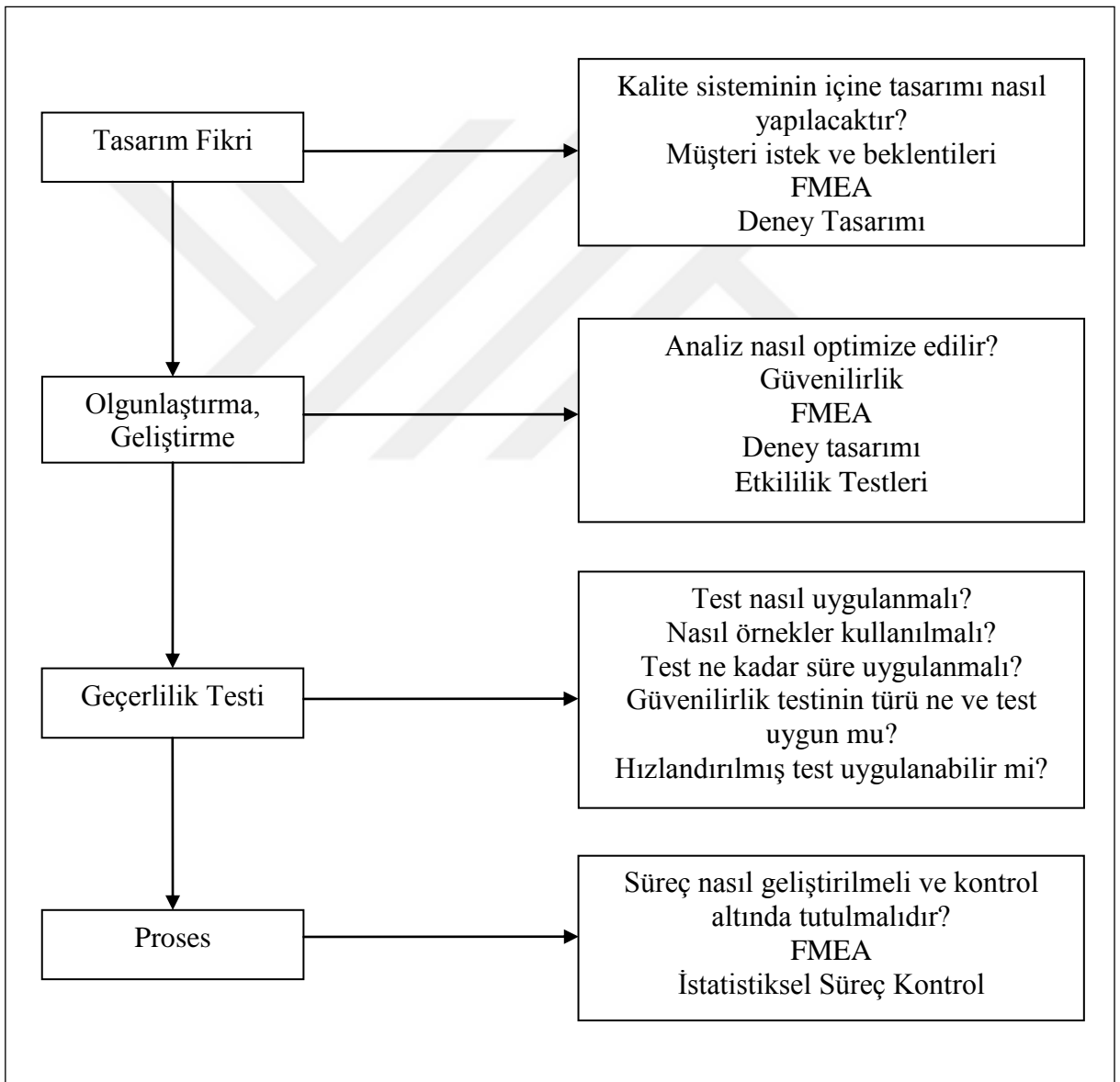
FMEA, olası problemlerin en erken zamanda yok edilmesi ile müşteri tatminini en yüksek seviyede tutan bir metodolojidir. Buradaki en erken zamandan kasıt bazı bilgiler oluşur oluşmazdır. FMEA tekniğinin uygulanması, mümkün olduğunca erken aşamada hatta tüm bilgiler mevcut değilken başlatılmalıdır. FMEA tekniğini uygulamak için tüm verilerin oluşmasını beklemek yanlış olur. Bazı veriler oluşur olmaz uygulama başlatılmalıdır (Büyüktuna, 2012; Aydın, 2004).

FMEA tekniğinin uygulamasının başlatıldığı durumlar aşağıdaki gibidir (Büyüktuna, 2012; Aydın, 2004):

- Yeni sistemler, yeni tasarımlar, yeni ürünler, yeni prosesler ve yeni servisler oluşturulacağı zaman,
- Var olan sistem, ürün, proses, tasarım ve servisler değiştirileceği zaman,
- Var olan sistem, ürün, proses, tasarım ve servisler için yeni yöntemler bulunmak istendiğinde,

- Var olan sistem, ürün, proses, tasarım ve servislerde önemli hatalar görüldüğü zaman,
- Var olan sistem, ürün, proses, tasarım ve servislerin geliştirilmesi istendiği zaman,

FMEA, sürekli olarak gelişimi amaçlayan bir tekniktir. Bu özelliği ile FMEA sistemden başlayarak üretim ve servise kadar olan her evrede uygulanabilir. FMEA'nın yol haritası aşağıda Şekil 1.1.'de gösterilmiştir (Büyüktuna, 2012; Aydın, 2004).



Şekil 1.1. FMEA Yol Haritası(Büyüktuna, 2012; Aydın, 2004)

1.4.2. FMEA Ne Zaman Sonlandırılmalıdır?

FMEA tekniği sistem, süreç, tasarım veya servisin sona erdirilmesi kararı verildiğinde sonlandırılabilir (Büyüktuna, 2012; Aydın, 2004).

FMEA tekniğinin sonlandırılacağı durumlar şunlardır (Büyüktuna, 2012; Aydın, 2004):

- Sistem FMEA, tüm donanımın belirlendiği zaman,
- Tasarım FMEA, tasarımın son halini aldığı ve üretime geçişin tarihi kesinleştiği zaman,
- Proses FMEA ise tüm proseslerin tanımlandığı, karakteristiklerin değerlendirildiği ve tüm kritik karakteristiklerin kontrol planlarına aktarıldığı zaman,

Servis FMEA, tüm sistem donanımının ve kişisel görevlerin belirlendiği, değerlendirildiği ve tüm kritik karakteristiklerin kontrol planlarına aktarıldığında sona erdirilebilir.

1.5. FMEA ile ilgili Kavramlar

Müşteri: Hata türünden etkilenebilecek nihai kullanıcı, akış yönündeki montaj ve imalat operasyonu, bir hizmet operasyonu veya bir düzenleyicidir (Çelikdemir, 2012).

Müşteri, FMEA tekniği için müşteri, ortaya çıkabilecek hatalardan etkilenecek kişi ya da departmanlar olarak tanımlanır (Akpınar, 2015).

Fonksiyon: Herhangi bir üründen veya süreçten gerçekleştirmesi beklenen özellikleridir. Ortaya çıkabilecek hata, ürünün veya sürecin bazı karakteristiklerinin çalışmasını önleyebileceği gibi tüm karakteristiklerinin de çalışmamasına yol açabilir. Bu durumda müşteri ihtiyaç ve beklentileri karşılanmamış olup işletme için, kar kaybı ve rekabet gücü azalımı gibi olumsuzluklar ortaya çıkar (Akpınar, 2015).

Hata: Herhangi bir ürünün veya sürecin, beklenen özelliklerini (tasarım amacı veya süreç gerekliliğini) yerine getirmemesidir (Büyüktuna, 2012).

Hata Türü: Hataların birbirinden bağımsız olarak sınıflandırılmasıdır (Büyüktuna, 2012).

Hata Nedeni: Hataların ortaya çıkmasını tetikleyen faktör ya da teknolojik uygunsuzluktur. Hata nedenleri incelenirken kök sebeplere inmek gerekir. FMEA tekniğinin en önemli unsuru, mevcut veya olası hata türleri nedenlerinin doğru ve anlaşılır bir şekilde tanımlanması ve bu nedenlerin ortadan kaldırılmasıdır (Aytaç, 2011).

Hata Etkisi: Üründe veya sistemde ortaya çıkabilecek hatalar önlenemediğinde, hatanın son ürün üzerindeki etkisinin tanımlandığı ve müşteriler üzerindeki olumsuzlukların analiz edildiği süreçtir (Büyüktuna, 2012).

Mevcut Kontroller: Hatanın meydana gelmesini önlemek ve hatanın son kullanıcı olan müşteriye ulaşmaması için yapılan kontrollerdir. Bu kontroller, son aşamada oluşan nihai ürünlerdeki hatayı tespit etmek için değil, önceki aşamalarda ortaya çıkabilecek hataları belirleyecek ve önleyecek nitelikte olmalıdır (Büyüktuna, 2012).

Keşfedilebilirlik: Ürünün imalat, montaj hattını ve sistemi terk etmeden önce, belirlenen hata türünün neden olabileceği kusurun fark edilebileceği olasılığının tahmin edilmesidir.

Şiddet: Sistemde oluşacak hata türünün müşteri üzerinde oluşturabileceği etkisinin tahmin edilmesidir.

Ortaya Çıkma: Tanımlanan hata türünün tasarım, proses ya da sistemde ortaya çıkma olasılığıdır. Ortaya çıkma hatanın oluşum sıklığını gösterir.

Risk Öncelik Sayısı (RÖS): Risk öncelik sayısı, şiddet, ortaya çıkma ve keşfedilebilirlik çarpanlarının çarpılmasıyla bulunur. Hatanın risk değerini gösteren bir ölçüttür. Bu değer, sistemde kaynaklanan hata türlerinin büyükten küçüğe doğru

sıralanmasını ve bu sıralamaya göre hata türleri için alınacak düzeltici ve önleyici faaliyetlerin öncelik sırasını belirler (Büyüktuna, 2012).

$$\text{Risk Öncelik Sayısı} = \text{Şiddet (Ş)} \times \text{Keşfedilebilirlik (K)} \times \text{Ortaya Çıkma (O)}$$

Kritiklik: Hatanın meydana gelme olasılığı ile hatanın son kullanıcıya ulaşmadan önce sistemde yakalanma olasılığının çarpımıdır.

Kritik Karakteristikler: Ürün veya hizmetin emniyet ve güvenilirliği üzerindeki etkiye sahip olduğu karakteristiklerdir.

Önemli Karakteristikler: Ürün veya servisin kalitesi için olması gereken verilerdir. Bunlar müşteri ve tedarikçilerin kendi aralarında belirledikleri karakteristiklerdir (Büyüktuna, 2012).

Anahtar Karakteristik: Sürece hızlı bir şekilde feedback sağlayan karakteristiklerdir. Kalite problemlerinin hızlıca problemin kaynağında yok edilmesine imkan sağlarlar.

Özel Proses Karakteristikleri: Zaman zaman ürünlerin üretim ve montaj aşamalarında değişkenlikler oluşmaktadır. Bu değişkenliklerin belirlenen bir hedef değerde tutulmasını sağlayan karakteristiklerdir.

Özel Ürün Karakteristikleri: Ürünün emniyet ve güvenilirliğini etkileyen, yasal düzenlemelere yol açabilecek ve müşteri tatmininde büyük düşüslere neden olabilecek karakteristiklerdir (Büyüktuna, 2012).

1.6.FMEA’NIN Çeşitleri

FMEA tekniği öncelikle donanıma yönelik uygulanmıştır. Tekniğin kullanımı arttıkça süreçteki potansiyel hataların tanımlanıp, önlenmesi için kullanılmaya başlanmıştır. İlerleyen zamanlarda da FMEA servis ve tasarım alanlarında da kullanılmıştır (Aran, 2006).

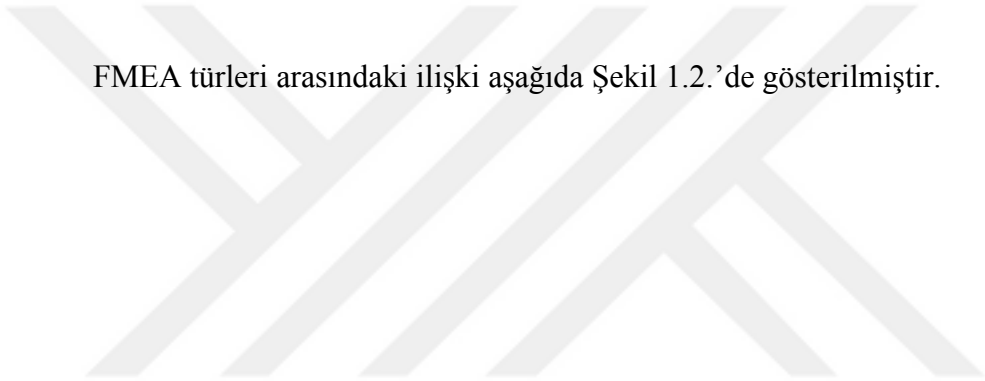
FMEA dörde ayrılmaktadır. Bunlar;

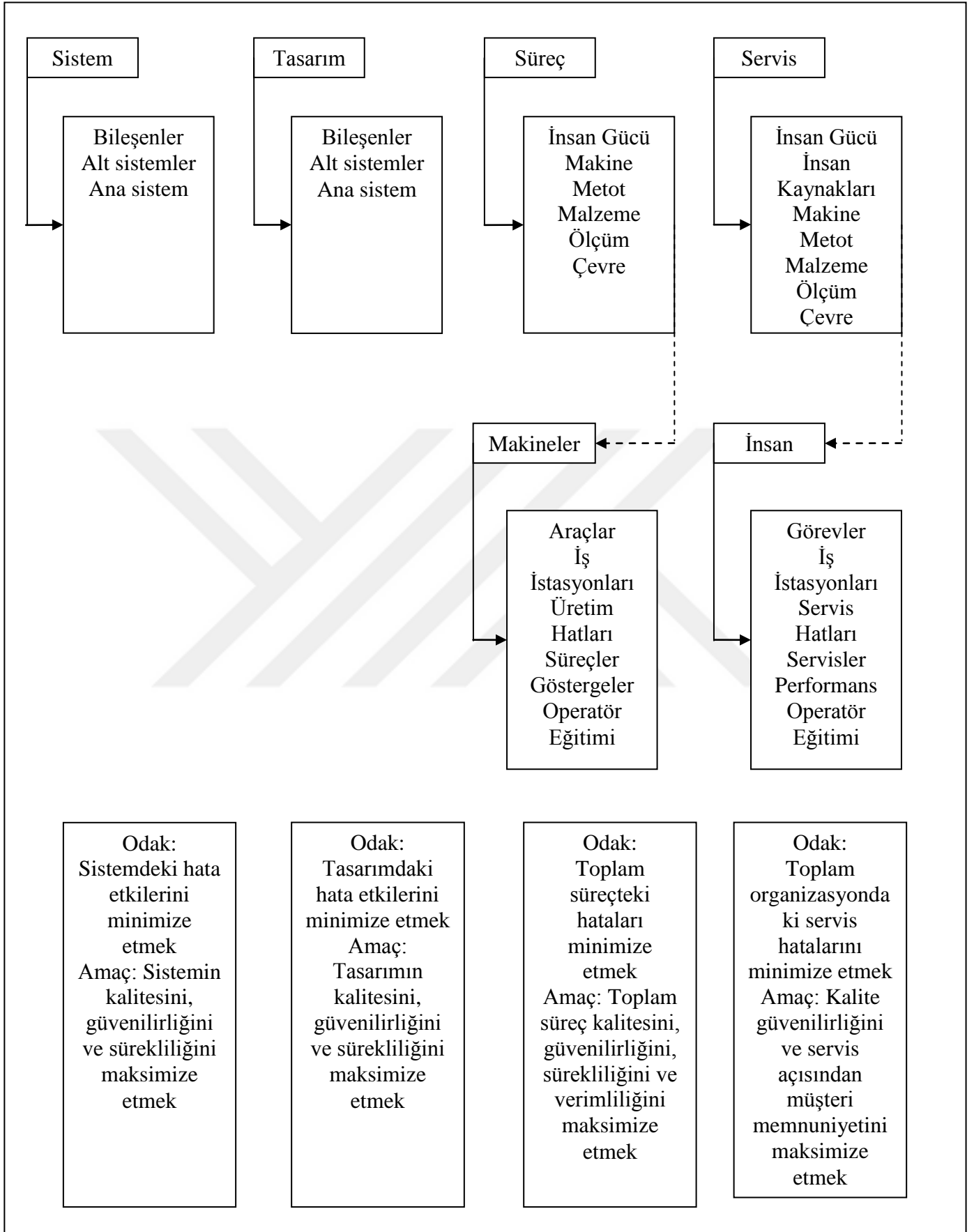
- Sistem FMEA
- Tasarım FMEA
- Proses FMEA
- Servis FMEA

Ancak temelde FMEA uygulamaları ikiye ayrılır.

- Tasarım FMEA
- Proses FMEA

FMEA türleri arasındaki ilişki aşağıda Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.



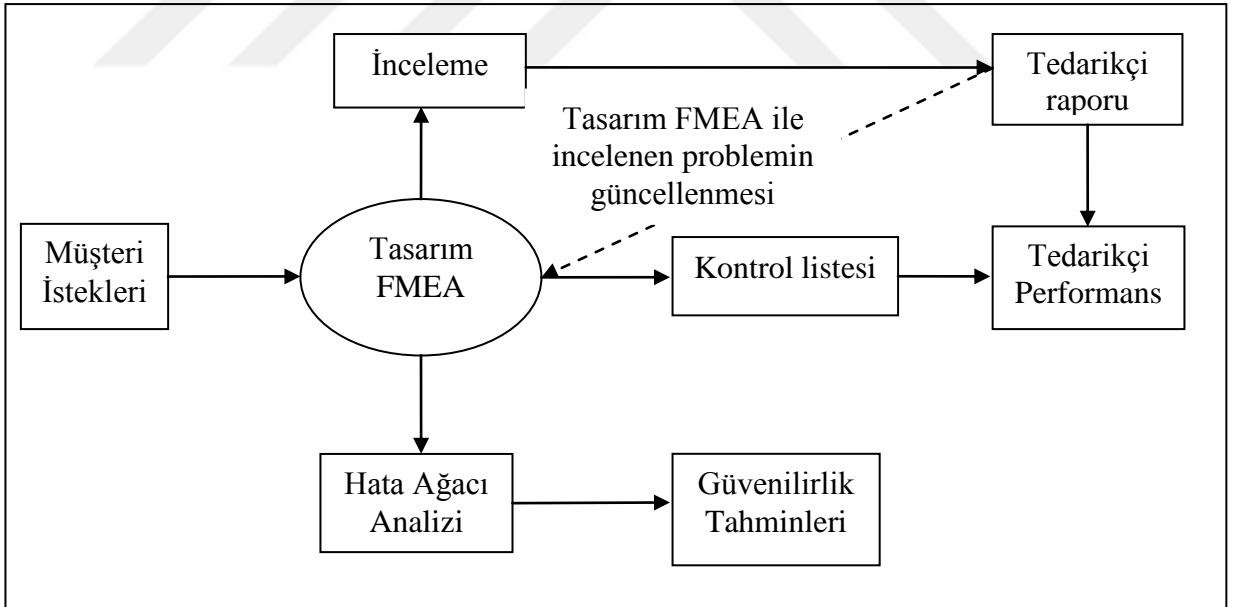


Şekil 1.2. FMEA türleri ve aralarındaki ilişki (Aran, 2006)

1.6.1. Tasarım FMEA

Tasarım FMEA henüz ürünlerin üretim sürecine geçilmeden tasarım aşamasında uygulanır. Ürünün tasarımından kaynaklanan, imalat ve servis sırasında meydana gelebilecek potansiyel tasarım hata türlerini inceler. Tasarım sırasında oluşabilecek hataların haricinde üretimde, serviste ve kullanıcı hatalarından kaynaklı üründe oluşabilecek tasarım ile ilgili hata türlerini analiz eder. Analiz edilen hata türlerinin etkileri hesaplanarak gerekli önleyici ve düzeltici faaliyetler belirlenerek tasarımda yapılması gereken değişiklikler tanımlanır. Tasarım FMEA, tasarımın incelenmesine içi ve düzeltici faaliyetlerin önceliklendirilmesi için tasarımın başlangıcından sonuna kadar devamlı bir şekilde uygulanmalıdır (Boran, 1996).

Tasarım FMEA uygulaması, tasarım aşamasında bilgilerin henüz daha tam olmadığı veya işletmelerin veri tabanlarının yeterli olmadığı zaman da yapıldığı için proses FMEA'ya kıyasla daha zordur. Tasarım FMEA uygulaması için izlenmesi gereken yollar Şekil 1.3.'de gösterilmiştir (Aytaç, 2011).



Şekil 1.3. Tasarım FMEA diyagramı

Tasarım FMEA uygulamasında kullanılacak veriler müşterilerden sağlanan bilgilerdir. Bu veriler müşteri ihtiyaçları olmakla birlikte işletmeye ait giriş kalite kontrol kayıtları, üretim/montaj hata oranları kayıtları, yardımcı sanayi kontrol sonuçları, ürünün arıza durumlarının kayıtları vb. gibi verilerden de sağlanmaktadır.

Tasarım FMEA'nın başarılı olabilmesi için aşağıdaki bilgilerin sistematik bir şekilde uygulanması gerekmektedir (Aytaç, 2011).

- Tasarıma çok iyi odaklanmak,
- Uyulması gereken standart ve güvenlik ve uyarı dokümanları gibi dokümanlara uymak,
- Ürünün fonksiyonları, müşteri istek ve beklentileri ve ürünün müşteri tarafından doğru kullanılıp kullanılmayacağı gibi genel bilgiler,
- Tasarım ihtiyaçları,
- Mekaniksel,
- Elektriksel,
- Hizmet ömrü,
- Geçerliliği,
- Kontroller,
- Çevre,
- Materyaller
- Parça standardizasyonu,
 1. Maliyet amacı
 2. Bakım düşünceleri
 3. Kritik sistemler
 4. Tasarım alternatifleri
- Ürün garantileri
 1. Test ve muayene ihtiyaçları
 2. Dokümantasyon ihtiyaçları
 3. Ambalajlama ve taşıma ihtiyaçları

Tasarım FMEA uygulaması ile elde edilen bilgiler çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle de test ve muayene noktalarının belirlenmesinde, fonksiyonel kısıtların ve faydalı ömrün belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntem ile tasarım hataları zamanında düzeltilip gerekli tasarım değişikliklerinin yapılması sağlanacağından ortaya çıkabilecek hataları gidermek için harcanan zaman kısılacaktır. Bundan dolayı insanlar hataların olumsuz etkileriyle karşı karşıya gelmeyeceklerdir. Böylece ürün ve sistem güvenilirliği ve emniyetinde artış sağlanacaktır. Bütün

bunlardan dolayı tasarım FMEA tasarım aşamasındaki kararların alınmasında ve tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesinde yararlı bir araç olarak kullanılır (Boran, 1996).

Tasarım FMEA'nın sağladığı yararlar şu şekilde özetlenebilir (Söylemez, 2006):

- Ürünün potansiyel hatalarını ürün gerçekleşmesi olmadan önce fark edilmesini sağlar.
- Kritik ve önemli karakteristiklerin tanımlanmasına yardımcı olur.
- Uyulması gereken, ürün emniyet kurallarının belirlenmesini ve tasarım aşamasındaki gerekli önlemlerin alınmasını sağlar.
- Ürün tasarım ihtiyaçlarını ve alternatiflerinin incelenmesine yardımcı olur.
- Tasarım iyileştirmeleri için önceliklerin belirlenmesine yardımcı olur.
- Tasarım aşamasında oluşturulan belgelendirme sistemi, gelecekteki ürün tasarımları için yol göstericilik yapar.

Tasarım FMEA tekniğinde iki yaklaşım mevcuttur. Birinci yaklaşımda sistem ya da ürün bir bütün olarak incelenir daha sonra alt sistemlere ayrılarak en alt birime kadar analiz edilir. İkinci yaklaşım ise, parça ya da bileşen gibi sistemin en alt biriminden başlayıp alt sistem gibi aşamaları geçerek sistemin ya da ürünün en son düzeyine kadar ilerlenir. Genelde ikinci yaklaşım daha çok kabul görür.

Günümüzde teknolojik gelişmeler sonucunda ürünlerin ve sistemlerin çok karmaşık hale gelmesinden dolayı tasarım FMEA'nın Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve yapay zeka ile uygulanması daha olumlu sonuçlar verecektir (Boran,1996).

Tasarım FMEA şu konuları içermektedir (Aran, 2006):

- Üretime yeni girecek yeni parçalar için,
- Mevcut parçaların revizyon olmuş halleri için,
- Mevcut parçaların yeni uygulamaları için,

Tasarım FMEA çalışması üretim bölümleri, kalite güvence bölümleri ve yan sanayilerden sağlanan verilere göre prototip çizimleri yayınlanmadan önce yapılmalıdır. Tasarım FMEA'nın, tasarım aşamasında yapılması gerekirken, bazı karmaşık

ürünlerdeki ana riskli bölgeleri tespit edip ortaya çıkarmak için fizibilite çalışması aşamasında veya sistem geliştirmesi aşamasında dahi yapılması tavsiye edilebilir.

Tasarım FMEA, tasarım kavramının tamamlanmasıyla başlatılmalı, ürünün geliştirilme aşamalarındaki değişikliklerle sürekli güncelleştirilmelidir. Bundan dolayı tasarım FMEA sürekli yaşayan bir belge niteliğindedir (Aran, 2006).

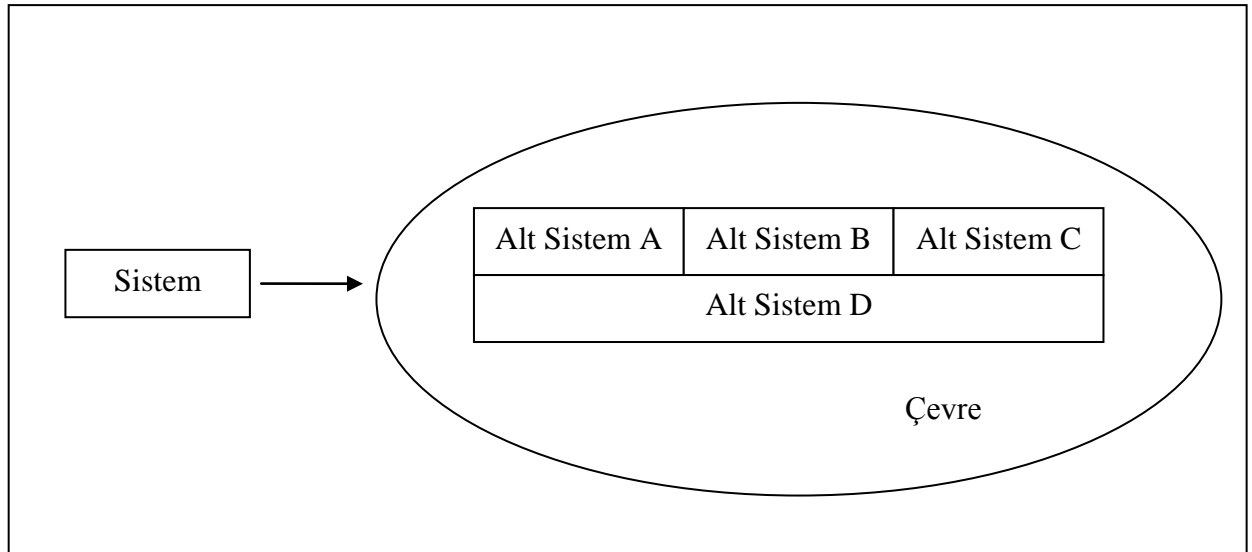
Tasarım FMEA'nın çıktıları şunlardır (Aran, 2006):

- Risk öncelik sayısına göre belirlenmiş ve sıralanmış olası hata türleri listesi,
- Kritik hata karakteristiklerinin potansiyel listesi,
- Uygun test etme, muayene ve hata fark edebilme önlemleri parametrelerinin potansiyel listesi,
- Potansiyel hata türlerini ortadan kaldıracak, güvenlik konularını ön plana çıkaracak ve hatanın ortaya çıkmasını azaltacak potansiyel tasarım önlemlerinin listesi,

1.6.2. Sistem FMEA

Sistem FMEA'da hedef etkinlik ve performans faktörleri ile ekonomik faktörler arasında uygun bir denge belirlemektir. Bu hedefe ulaşmak için sistem FMEA, müşterilerin ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda yapılmalıdır. Sistem FMEA kavramsal ve tasarım aşamasında, sistem ve alt sistemlerin incelenmesinde kullanılır. Sistem FMEA uygulaması sistem eksikliklerinden kaynaklanan sistemin fonksiyonları arasındaki olası hata türlerine odaklanır. Sistemler arasındaki ilişkileri ve sistemin elemanlarını da içerir (Akpınar, 2015).

Sistem ve alt sistemler arasındaki ilişkiler Şekil 1.4.'de gösterilmiştir. Alt sistem A, alt sistem B ve alt sistem D ile etkileşim halindedir. Alt sistem C ile etkileşim halinde olmayıp, çevre açısından transfer yolu ile bağlantı kurmaktadır. Alt sistem A ile Alt sistem C arasındaki ilişkiyi tahmin etmek oldukça güçtür.



Şekil 1.4. Sistem ve Alt Sistem Arasındaki Etkileşim (Aydın, 2004)

Sistem FMEA uygulaması genelde proses boyunca tasarım test ve gelişimde kullanılan iyileştirici ve düzeltici bir tekniktir. Etkili bir sistem FMEA, üretim gelişimi, mühendislik süreçleri, AR-GE çalışmaları veya bunların birlikte ele alındığı çalışmalarda uygulanır (Şamur, 2005).

Sistem FMEA üç önemli nokta vardır. Bunlar;

- Operasyonel bir ihtiyacı, sistem performans değişkenliklerinin belirlenmesine ve fonksiyonel analiz, tanımlama, optimizasyon, tasarım, deney ve gelişimin etkin süreçlerinin kullanımını uygun sisteme taşımak.
- İlişkili teknik değişkenler ve tüm sistem tasarımını ve tanımını en iyileyen fonksiyonel, fiziksel ve program ara yüzlerini, kalite güvence uygunluğuna göre oluşturmak.
- Emniyet, güvenilirlik, süreklilik, insan faktörleri, mühendislik yardımcı elemanları, üretilebilirlik ve diğer benzer özellikleri mühendislik gücüyle birleştirmek.

Sistem FMEA'nın yararları şunlardır (Akpınar, 2015).

- En iyi sistem tasarımı modelini seçmede yardım eder.
- Sistem içerisinde uygulanacak prosedürlerin temelini oluşturulmasına yardım eder.
- Olası sistem hatalarını ve bunların sistem veya alt sistemlerle ilişkilerinin tanımlanmasına yardım eder.
- Sistem içerisindeki gereksizlikleri belirlemede yardım eder.

Sistem FMEA'nın çıktıları şunlardır (Akpınar, 2015):

- Risk öncelik sayısına göre belirlenmiş ve sıralanmış olası hata türleri listesi,
- Olası hata türlerini fark edebilecek potansiyel sistem fonksiyonları listesi,
- Potansiyel hata türlerini ortadan kaldıracak, güvenlik konularını ön plana çıkaracak ve hatanın ortaya çıkmasını azaltacak potansiyel sistem tasarım önlemlerinin listesi,

1.6.3. Servis FMEA

Müşteriye sunulan hizmetleri geliştirmek için üretim, kalite güvence ve satış bölümleriyle entegre olarak uygulanan bir yöntemdir.

Servis FMEA, organizasyonun tümünün eksikliklerinden kaynaklanan hata türlerini dikkate alarak servis organizasyonundaki işleyişi aksatabilecek kritik ve önemli karakteristikleri belirleyerek ortaya çıkabilecek hataların organizasyonu minimum düzeyde etkileyecek şekilde gerekli düzeltici faaliyetlerin alınmasını sağlar.

Servis FMEA, organizasyonun eksikliklerinin incelenip analiz edilmesine yardımcı olur. Bu analizin uygulanmasıyla; organizasyon içindeki faaliyetlerin öncelik sırasının belirlenmesi ve yapılan değişiklik açıklamalarının kaydedilmesini sağlar (Söylemez, 2006).

Servis FMEA uygulamasının sağladığı yararlar şunlardır (Büyüktuna, 2012):

- İş akışının analiz edilmesine yardımcı olur.
- Sistemin analiz edilmesine yardımcı olur.
- İşlem yetersizliklerin ve aksaklıkların belirlenmesine yardımcı olur.
- Kritik ve önemli karakteristiklerin belirlenmesini sağlayarak kontrol planlarının oluşturulmasına yardımcı olur.
- Gerekli düzeltici faaliyetlerin önceliklendirilmesine yardımcı olur.
- Yapılan değişikliklerin belgelendirilmesini sağlar.

1.6.4. Proses FMEA

Proses FMEA, tasarımı yapılmış olan ürünün sıfır hata ile müşteriye ulaşmasını sağlamak amacı ile imalat veya hizmet aşamasında ortaya çıkabilecek hataları belirlemeye çalışır. Bu amaç doğrultusunda proses FMEA, proste iyileştirmeler yapar bundan dolayı proses geliştirme yaklaşımı olarak da tanımlanır. Proses FMEA, hatasız ürünler üretmek için analizi yapan kişilerce imalat veya montaj proseslerinde kullandıkları aletleri, makineleri, prosesleri ve insan gücünün etkilerini analiz ederek, imalat proseslerinin değerlendirmesini yani zayıf noktaların belirlenmesini sağlar. Proses FMEA uygulamasında çalışanların hataları, donanım hataları, uygun olmayan malzeme ve yöntemlerin kullanımı sonucu oluşan hatalar ürün üretim aşamasına girmeden önce belirlendiği için hataları düzeltmek daha kolaydır. Fakat malzeme, insan, makine, yöntem, ölçme ve çevre olarak belirlenen üretim bileşenlerinin arasında etkileşimin daha çok olmasından dolayı tasarım FMEA'dan daha zor ve zaman alıcı olmasına neden olur (Boran, 1996).

Proses FMEA iki şekilde;

- Son ürünün potansiyel hata türlerini,
- Her bir imalat aşamasında prosesin potansiyel hata türlerini tanımlamak amacıyla kullanılır.

Bundan dolayı proses FMEA, ürün proses FMEA olarak da isimlendirilir. Proses FMEA ürünün potansiyel hata türlerini tanımlayan, hataların müşteri üzerinde

oluşabilecek olumsuz etkilerini tanımlayan, imalat ve montaj prosesindeki potansiyel hata nedenlerinin ve değişikliklerini belirleyen bir mühendislik tekniği olarak tanımlanır (Boran, 1996).

Proses FMEA (Aydın, 2004);

- Proses fonksiyonlarını ve gereksinimlerini belirlemek,
- Ürün ve proses ile alakalı olası hata türlerini belirlemek,
- Olası hataların müşteriler üzerindeki etkilerini değerlendirmek,
- Olası hata durumlarını tanımlama veya meydana gelmesini azaltacak proses değişikliklerini ve montaj veya üretim proses nedenlerini belirlemek,
- Düzeltici ve önleyici faaliyetlerini değerlendiren öncelikli sistemleri kurma,
- Prosesleri belgelendirmek amacıyla kullanılır.

Proses FMEA çalışması yürütülürken aşağıdaki sorular sorulmalıdır (Aytaç, 2011):

- Prosesin hedef performansı nedir?
- Proses işlevleri nasıl yürümektedir?
- Proseste kullanılan ham mamüller ve yarı mamüller nelerdir?
- Proses nasıl diğer proseslerle karşı karşıya gelmektedir?
- Proses ne şekilde kullanılmalı, nasıl devam ettirilmeli, nasıl onarılmalı ve gerektiğinde ne şekilde sonlandırılmalıdır?
- Üretim proseslerin sırası nasıldır?
- Proses maliyet açısından etkin midir?

Proses FMEA, üç temel işlemde oluşmaktadır. Bunlar;

- Başlangıç işlemleri ve tanımlamalar
- İnceleme ve değerlendirme işlemleri
- Karar verme işlemleri

Başlangıç ve tanımlama işlemlerinde, FMEA ekibi oluşturulup analiz edilecek proses belirlenir. İnceleme ve değerlendirme işlemlerinde, hata türleri ve bunlara ilişkin spesifikasyonlar tanımlanmaktadır. Sonraki işlemde ise belirlenen risk öncelik katsayısına göre hata türleri sıralandırılarak gerekli önleyici ve düzeltici faaliyetler alınmaktadır (Aytaç, 2011).

Proses FMEA'nın yararları (Söylemez, 2006);

- İlk olarak üretilecek parçanın üretim proseslerin analiz edilmesine kolaylık sağlar,
- Oluşabilecek proses hatalarını ve bu hataların etkilerinin dikkate alınmasını sağlar,
- Ürünlerin hatalı olarak üretilmesini önlemek için mühendisleri farklı yöntemlere odaklayarak prosesdeki problemlerin belirlenmesini sağlar.
- Kritik ve major karakteristikleri tanımlar ve düzeltici faaliyetler için öncelik sırasının oluşturulmasını sağlar,
- Proseste oluşturulan değişiklikleri belgeler. Bu belge gelecekte uygulanacak proses tasarımları için yol göstericilik eder.

Proses FMEA'nın çıktıları şunlardır (Aran, 2006):

- Hesaplanan RÖS değerine göre önceliklendirilmiş hata türleri,
- Major ve kritik karakteristikler,
- Ürünlerin kritik karakteristiklerine göre önceliklendirilen düzeltici önlemler,

Proses FMEA;

- Üretimi ilk defa yapılacak ürünler için,
- Revize edilen ürünlerde,
- Üretim proseslerinin değiştiği ve yeni mühendislik uygulamalarının uygulanacağı ürünlerde yapılmalıdır.

İyi bir şekilde uygulanmış PFMEA satın alma, AR-GE, üretim planlama, kalite yönetim sistemi, pazarlama gibi başlıca departmanları içerir. Proses FMEA dinamik bir belgedir. Daha FMEA hazırlık aşamasında ya da öncesinde başlatılmalı ve üretimin tüm aşamalarını içermelidir. Proses FMEA, ürünün tasarlanmış olan hali ile tasarım amaçlarını karşılayacağını varsayar yani tasarım zayıflıklarından dolayı ortaya çıkabilecek hataları içermez. Bunların etkileri ve analizi tasarım FMEA'nın içeriğini oluşturur (Söylemez 2006).

Tasarım ve Proses FMEA arasındaki farklılıklar Çizelge 1.2.'de gösterilmiştir (Söylemez, 2006).

Çizelge 1.2. Tasarım ve Süreç FMEA arasındaki farklılıklar

Tasarım FMEA	Proses FMEA
Ürünlerin daha seri üretime geçmeden önce tasarlanması sırasında kullanılır.	Ürünler üretim aşamasına geçtikten sonra üretim ve montaj proseslerinin tasarımında kullanılır.
Ürünlerin performansı azaltan, tasarım hatalarından kaynaklanan muhtemel hata türlerine odaklanır.	Ürünler üzerindeki performansı düşüren, üretim ve montaj hatalarından kaynaklanan muhtemel hata türlerine odaklanır.

Sonuç olarak tasarım FMEA ve proses FMEA, her iki uygulamada da hatalar ortaya çıkmadan yok etme ortak amacını taşır. Fakat ürün veya sistemin farklı aşamalarına uygulanan analiz türleridir. Uygulama aşamasında yalnızca kullandıkları bilgiler farklılık gösterir. Her iki analiz çeşidinde de yararlı sonuçlara ulaşılabilir. Ancak bu sonuçlar oluşturulan yazılı belgelerin kayıt üzerinde kalmayıp önceliklendirilen düzeltici faaliyetlerin uygulanması ve sonuçların izlenmesi bağlıdır (Boran,1996).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

FMEA, tekniği ilk defa ABD ordusunda askeri teçhizatların güvenliğini arttırmak için geliştirilmiştir. “MIL-P-1629” kodlu Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis” çalışması Türkçe karşılığı Hata Türü Etkileri ve Riskinin Analizi üzerine Prosedürler şeklinde isimlendirilen askeri prosedür, 9 Kasım 1949 tarihinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu prosedür elektronik sistemlerin hata oranlarını belirlemede kullanılan bir formül de içermektedir (Yılmaz, 2017). Bu prosedüre bakıldığında FMEA’nın tanımı, terimlerin açıklanması ve uygulanacak gerekliliklerin bulunduğu görölür. Burada Tasarım FMEA konusu üzerinde durulmuştur. 1960lı yıllarda Amerikan ordusu bu tekniği havacılık ve roket alanında kullanmaya başlamıştır (Akpınar, 2015).

1963’te NASA tarafından APOLLO projesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu projede aya insan göndermek amaçlanmıştır. Bu ürünün tek ve maliyetinin yüksek olması sebebiyle hiçbir parçanın bozulması istenmiyordu. Tüm sistemi yedeklemenin maliyeti yüksek olacağı için FMEA çalışmasının yapılmasına karar verilmiştir (Sönmez, 2017).

Japon NEC firması 1970li yıllarda FMEA tekniğini ilk endüstriyel anlamda uygulamıştır, daha sonra tekstil ve otomotiv sanayinde uygulanarak dünya geneline yayılmıştır (Büyüktuna, 2012).

1980li yıllarda Ford Motor şirketi FMEA uygulamasını otomotiv sektöründe kullanmaya başlamıştır. Ford Motor şirketi FMEA sisteminde değişiklik yaparak karmaşık olan askeri prosedürü basitleştirmiştir. 1985 yılından itibaren FIAT şirketi de FMEA yöntemini uygulamaya koymuştur. Bu teknik Renault ve Citroen gibi otomotiv firmalarında da AMDEC adıyla uygulanmaktadır (Büyüktuna, 2012).

1988 senesinde Uluslararası Standartlaştırma Organizasyonu kalite yönetim standartları üzerine ISO 9000 serisini ortaya çıkarmıştır. Bu standart şişletmeleri, müşterilerin beklentileri ve istekleri doğrultusunda Kalite Yönetim Sistemleri geliştirmeyi zorunlu kılmıştır. ISO 9000 standardının otomotiv sektöründe karşılığı QS 9000 dir. Bu standart otomotiv firmalarını kalite yönetim sistemlerini standartlaştırma

gayreti içine sokmuştur. Bunun için bu sektördeki işletmeler FMEA tekniğini içeren APQP İleri Ürün Kalite Planlaması (Advanced Product Quality Planning) uygulamakta ve Kontrol Planları oluşturmaktadır (Söylemez, 2006).

Şubat 1993 yılında Otomotiv Endüstri Faaliyet Grubu (AIAG) ve Amerikan Kalite Kontrol Topluluğu (ASQC) endüstriyel olarak FMEA standardı oluşturmuşlardır. Bu standart FMEA yapısı, QS 9000 standardının geliştirilmesine katkı sağlayan Chrysler, Ford ve General Motors şirketleri tarafından da kabul görmüştür (Söylemez, 2006).

1994'te Society of Automotive Engineers FMEA tekniği için SAEJ-1939 standardını yayınlamıştır (Söylemez, 2006).

2001 yılında ise Ristord nükleer çalışmalarda uygulamak için Belçika'da HTEA prosedürü yayınlamıştır (Aydın, 2004).

Türkiye de ise HTEA tekniği 1985 yılından beri uygulanmaktadır. Son zamanlarda kullanımı oldukça yaygınlaşan HTEA yöntemi hemen hemen her sektörde kullanılmaktadır. Bu sektörlerin başında otomotiv sektörü yer alır. Gıda, metal, beyaz eşya, elektronik, deniz taşıtları imalatı, nükleer tasarımlar, yazılım, sağlık sektörü, uzay, atom, iletişim gereçleri vb. gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır (Büyüktuna, 2012).

Literatürde FMEA yöntemi ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar FMEA çeşitleri ve uygulama alanlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. FMEA uygulamalarına yönelik yapılan bazı çalışmalar şu şekildedir.

Tunçelli (2006), Ford Motor firmasında kullanılan tasarım FMEA modelini ele alarak ROTAM helikopter projesi kapsamında tasarlanmakta olan pilot koltuğu tasarımı sürecine uygulamıştır. Çalışmanın sonunda gerekli düzeltici faaliyetler belirlenerek bu faaliyetlerin uygulanmasının tasarım sürecine önemli katkılar sağlayacağı görülmüştür.

Boran (1996), çalışmasında Toplam Kalite Yönetiminin başarıya ulaşmasında FMEA'nın önemini vurgulamış ve FMEA yönteminin uygulanması sürecinde izlenecek adımları ayrıntılı bir şekilde anlatmıştır. Bu çalışmada bulanık küme kuramı ile FMEA

yönteminde hata risklerinin önceliklendirilmesinde kullanılan RÖS'na sayısal değerler atama yerine sözel ifadeler kullanılması anlatılmıştır. Geliştirilen model için Basic dilinde bir program hazırlanmış ve uygulama bu program üzerinde uygulandığında, klasik uygulama şekli ile aynı sonuç elde edilmiştir.

Yılmaz (2000), Hata Türü Ve Etki Analizi adlı çalışmasında, FMEA uygulamasının turizm sektörüne de kolaylıkla uygulanabileceğini anlatmış ve bu tekniğin turizm sektörde uygulanabileceği en elverişli alanın yiyecek-içecek işletmeleri olduğunu belirtmiştir. Bu alanda karşılaşılabilecek hata türlerini belirlemiş ve FMEA uygulamasının yiyecek-içecek işletmelerine sağladığı katkıları göstermiştir.

Büyüktuna (2012), Denizli'de paslanmaz gıda teknolojileri üzerine üretim yapan Ger Metal Ltd. Şti'de üretilen nakil tankları sürecinde FMEA uygulamasını gerçekleştirmiştir. Hesaplanan değerlere göre düzeltici faaliyetler geliştirilerek sürecin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu tekniğin uygulanması sonucunda %54 oranında iyileştirmeler kaydedilmiştir. Firmanın kalitesizlik maliyetlerinin azaltılmasında ve müşteri tatmininin artırılmasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çelikdemir (2012), Bir Otomasyon Hattında Hata Türü ve Etkileri Analizi isimli çalışmasında, makine FMEA türünü kalite açısından kapsamlı ve teorik açıdan anlatmıştır. Bu çalışmada işlerin manuel olarak ve iş güvenliği açısından büyük riskleri içeren geleneksel üretim tipinden, robotik kollar tarafından daha hızlı ve iş kazası riski olmadan yapılan bir otomasyon hattına geçişte Makine Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin uygulanması anlatılarak literatüre yeni bir özellik katmıştır. Otomasyon hattı ile mevcut işgücü kullanımında %70 tasarruf sağlandığı gözlenmiştir.

Aytaç (2011), bu çalışmada Denizli'de bulunan bir kablo işletmesinde Kalite Fonksiyon Göçerimi ile ürün geliştirilmesi ve ürünün üretimi sırasında çıkabilecek hata türlerini bulanık FMEA yöntemiyle hesaplanmasını anlatmıştır. Bu çalışmanın sonunda bulunan sonuçlar işletme tarafından anlamlı bulunmuştur.

Akpınar (2015), Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemine Gri Teori Yaklaşımının Uygulanması isimli çalışmasında üretim sürecinde ortaya çıkabilecek hataları gri teori yaklaşımı ile önceliklerini belirleyerek bu hataların FMEA ile ortadan kaldırılmasını anlatmıştır. Bu çalışmanın sonucunda önemli iyileşmeler gerçekleşmiştir.

Aran (2006), Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Piston Üretiminde Bir Uygulama adlı çalışmasında Yenmak Piston & Segman San. Ve Tic. A.Ş.'de üretilen motor pistonlarına proses FMEA tekniğini uygulamıştır. Çalışmanın sonucunda proses FMEA tekniğinin firmanın kalite fonksiyonlarını iyileştirme konusunda katkı sağladığını göstermiştir.

Musubeyli (2004), çalışmasında mekanik termostat parçalarını, müşteri ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemini kullanarak önceliklendirilerek bu parçalara tasarım FMEA tekniğini uygulamıştır. Çalışmanın sonunda hata türleri sayısında, zaman ve maliyet açısından %35 azalma tespit edilmiştir.

Söylemez (2006), Hata Türü ve Etkileri Analizi İş Güvenliği Uygulaması isimli çalışmasında MKE Elmadağ Roket Fabrikasında Hata Türü ve Etkileri Analizini İş güvenliği açısından değerlendirmiş ve çalışmanın sonucunda önemli iyileştirilmeler kaydedilmiştir.

Sofyalıoğlu, (2011), çalışmasında Klasik FMEA yönteminin uygulanışını ve bu yöntemin eksikliklerini incelemiştir. Bu eksikliklerin giderilmesi amacıyla Gri İlişki Analiziyle Bütünleştirilmiş FMEA uygulaması anlatılmıştır. Daha sonra bu iki uygulamayı karşılaştırarak Gri İlişki Analiziyle Bütünleştirilmiş FMEA uygulamasının Klasik FMEA yöntemine göre üstünlüklerine değinmiştir.

Sönmez (2017), çalışmasında otomotiv sektöründe faaliyet gösteren otomobil parçalarının üretim süreçleri için Hata Türleri ve Etkileri Analizi çalışmasını uygulamıştır. Çalışma ile FMEA tekniğine katkı sağlamayı amaçlamıştır. Bu çalışmanın sonucunda hammadde, giriş kalite kontrol, yardımcı malzeme kabulü, stoklama ve ara sevkiyatlar için %52,6'lık iyileşme, ambalajlama süreçleri için ise %54,3'lük bir iyileşme sağlandığı gösterilmiştir.

3. METARYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

Bu çalışmadaki bilgiler döküm sektöründe üretilen, bir üretim parçasının imalat öncesi ve imalat aşamasındaki iş akış şemaları ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak bir ekip tarafından analiz edilerek toplanmıştır.

3.2. YÖNTEM

Bu çalışmada kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan FMEA uygulaması üzerinde durulmuş ve FMEA çeşitlerinden olan proses FMEA yöntemi ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve döküm sektöründe üretilen bir parçaya nasıl uygulandığı anlatılmıştır.

Öncelikle üretim parçasına ait iş akış şeması belirlenmiş daha sonra bu iş akış şemasına göre oluşabilecek hata türleri tanımlanıp, bu hata türlerinin nedenleri ve etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gerekli düzeltici faaliyetler tanımlanmıştır ve bütün bu çalışma sonucunda elde edilen bilgiler proses FMEA tablosuna aktarılmıştır.

3.3. FMEA TEKNİĞİNİN UYGULAMA ADIMLARI

FMEA uygulaması aşağıdaki adımlar izlenerek yapılmıştır.

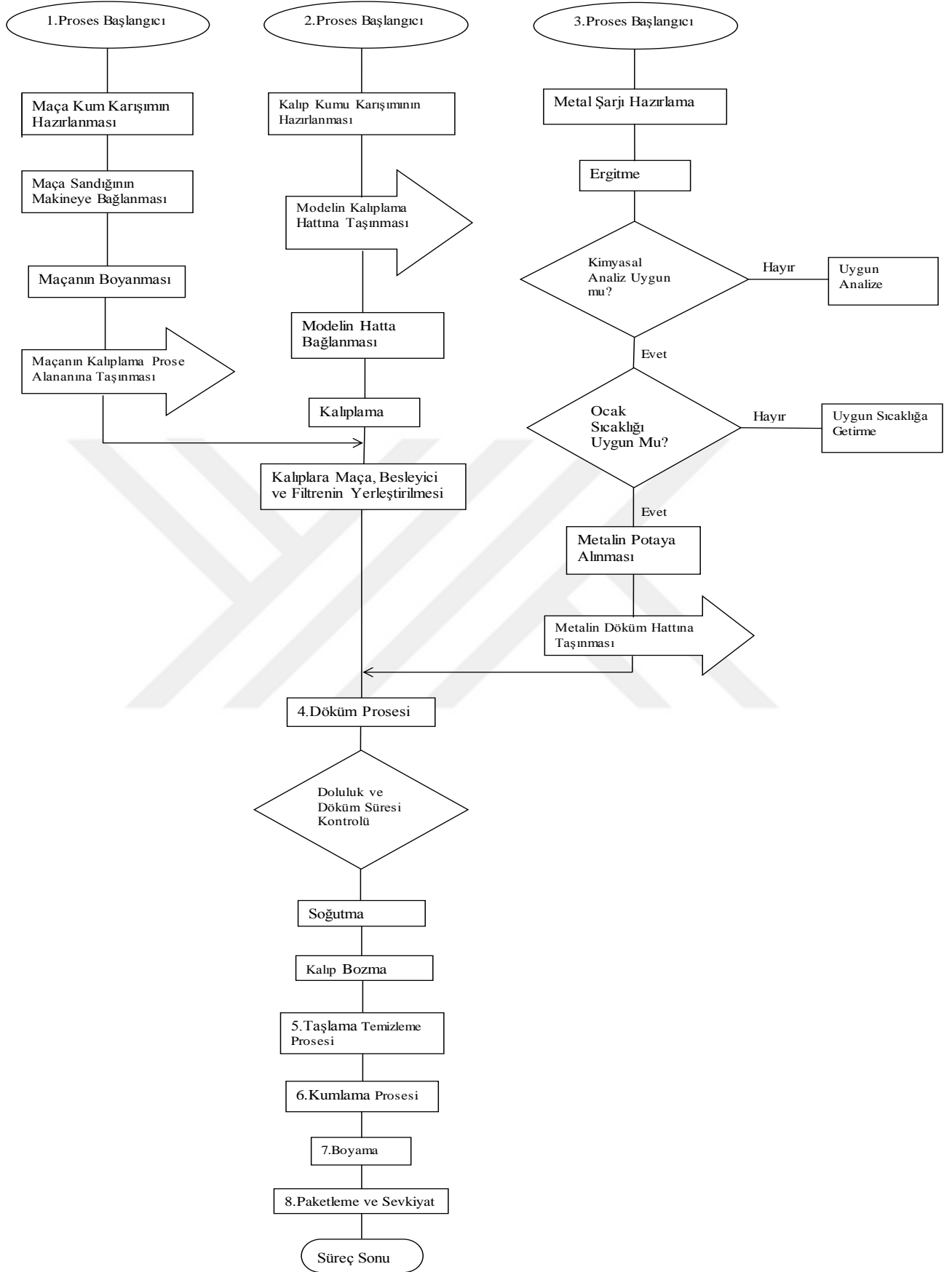
1. Proses akış şemasının belirlenmesi,
2. Her proste meydana gelebilecek potansiyel hataların tanımlanması ve bu hataların nedenlerinin araştırılması, tanımlanan hataların proses üzerindeki etkisinin analiz edilmesi ve varsa mevcut kontrollerin yeterliliği ve eksikliğinin araştırılması,
3. Olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerlerinin belirlenerek, risk öncelik sayısının belirlenmesi,
4. Risk öncelik sayısına göre hataların kritiklik düzeyine göre sıralanıp alınabilecek önlemlerin belirlenmesi ve yeni RÖS değerlerinin hesaplanması,

5. Tüm önlemler alındıktan sonra hesaplanan yeni RÖS değeri ile eski RÖS değerinin karşılaştırılması (Büyüktuna, 2012).

3.3.1. Proses Akış Aşamaları

Döküm için gerekli olan ham malzeme dışarıdan tedarik edilerek malzeme kabul deposuna gelir ve döküm için gerekli iş emri açılmasıyla üretim sahasına istenen oranlarda çekilir. Dökümü yapılacak parça aşağıda Şekil 3.1.'de belirtilen proseslerden geçer.





Şekil 3.1. Döküm Parçası Akış Şeması

Maça Yapımı: Reçine ve maça kumu birleştirilerek maça kumu karışımı hazırlanır ve maça sandığı doldurulur. Doldurulan maça sandığı iyice sıkıştırılıp sonra maça tipine göre uygun sertleştirici gaz uygulanır. Daha sonra maça sandığından çıkarılan maça bir sonraki proses için uygun bekleme alanına alınarak kalıplanacağı zamanı bekler.

Kalıplama: Bentonit, kuru silis kumu ve kömür tozu belirli oranlarda ve gerekli aktivatörler ile karıştırılarak kalıp kumu karışımı hazırlanır. Kalıplanacak parçanın modeli kalıplama hattına yerleştirilir ve taşıyıcı bantlar yardımıyla kalıplar kumla doldurulur. Hazırlanan derecelere uygun maçalar yerleştirilir ve alt derece ve üst derece üst üste gelerek kalıp hazır hale gelir.

Ergitme: Gerekli ham malzeme pik ya da sfero ve gerekli alyaj malzemeleri belirli oranlarda indüksiyon ocaklarında ergitilir. Ergimiş metalden spektral analiz numunesi alınarak kontrol edilir ve uygun sıcaklığa getirilerek döküm işlemi gerçekleştirilir.

Döküm: Uygun potalar ile ergimiş metalin kalıplara doldurulması işlemidir.

Taşlama ve Temizleme: Parça yolluklarından ayrılır ve parça yüzeyine dalmayacak şekilde, parçanın yapısını bozmadan taşlama işlemi yapılır.

Kumlama: Kumlama gerektiren parçalar kumlama makinesinin içinde 10-15 dk bekletilir ve parçanın istenilen yüzey kalitesine getirilmesi sağlanır.

Boyama: Parçalar müşteri spesifikasyonlarına göre istenilen renk ve kalınlıkta boyanır.

Ambalajlama: Müşteri isteklerine uygun olarak parçanın paketlenmesi yapılır.

3.3.2. Üretim Sürecinde Meydana Gelebilecek Hatalar, Nedenleri, Etkileri ve Mevcut Kontroller

1. Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi: Bu hatanın oluşma nedeni, üretimi gerçekleştirilecek olan parçaya ait olmayan maça sandığının alınarak maça üretiminin gerçekleştirilmesidir. Bu hatanın potansiyel etkisi, stok maliyetlerin artmasına ve üretim proseslerinde aksamalara neden olmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak maça sandıklarını iyi bilen tecrübeli kişiler (maçahane sorumlusu) tarafından maça sandıklarını alınması ön görülmüştür. Herhangi bir teknik çizim, tanımlama kartı vs. gibi kontrol önlemleri bulunmamaktadır. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.

2. Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması: Bu hatanın muhtemel oluşma nedeni maça üretimi prosesi sırasında uygunsuz maçaların fark edilmeden bir sonraki proses alanına taşınmasıdır. Bu hatanın potansiyel etkisi, müşteri spesifikasyonlarına uygun olmayan ürünün üretilmesi nedeniyle müşteri şikayetlerinin artmasına ve iç hata oranlarının yükselmesine neden olmaktadır. Bu hatayı önlemek için mevcut süreçte herhangi bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır. Bu gibi durumda karşılığınca bozuk olan parça bir sonraki proste fark edilirse parça hurdaya ayrılmaktadır. Eğer fark edilemezse parçanın hatalı olarak müşteriye sevki gerçekleştirilmektedir.

3. Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi: Bu hatanın nedeni kalıplama prosesi sırasında kalıplama hattına yanlış modelin bağlanmasıdır. Bu hatanın potansiyel etkisi özellikle müşteri siparişine göre üretim yapan işletmelerde kontrolsüz stok artışına ve depo maliyetlerinde artışa neden olmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak modelleri iyi tanıyan tecrübeli kişiler (modelhane sorumlusu) tarafından modellerin alınması ön görülmüştür. Herhangi bir model sicil kartı, teknik çizim, tanımlama kartı vs. gibi kontrol önlemleri bulunmamaktadır. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.

4. Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni modelin kalıplama hattına uygun şekilde bağlanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi firmada hurda artışına neden olmaktadır. Mevcut süreçte kontrol

önlemi olarak derecelerin üzerinde üst derece mi alt derece mi olduğunu belirten “ÜD” ve “AD” işaretleri bulunmaktadır. Üst model “ÜD” işaretli dereceye alt model de “AD” işaretli dereceye konmaktadır.

5. Parça da yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerin meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni kalıp kumu dayanımının az olması ve kalıp yüzeylerinin kontrolünün eksik yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte bu hatayı önlemeye yönelik bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır.

6. Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hataların nedeni kalıba maça, filtre ve besleyicilerin konulmaması veya yanlış konulmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte bu hatayı önlemeye yönelik bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır.

7. Parçada döküm kaynaklı (gaz boşluğu vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni ocak analizinin yanlış yapılması, maden oranlarının yanlış karıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi ürünün mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olmamasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak tecrübeli kişiler tarafından spektrometre ile kontrol yapılmaktadır. Her ürün için bu oranların olması gereken değerlerin yazıldığı herhangi bir döküm metot kartı yoktur. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.

8. Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi: bu hatanın nedeni ocak ve döküm sıcaklığının istenen değerden sıcak ya da soğuk olmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi ürünün mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olmamasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak tecrübeli kişiler tarafından termokuple ile kontrol yapılmaktadır. Her ürün için bu sıcaklık değerlerinin yazıldığı herhangi bir döküm metot kartı bulunmamaktadır. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.

9. Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni derecelerin yeterli miktarda ve uygun hızda doldurulmamasıdır. Bu

hatanın potansiyel etkisi ürünün mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olmaması, uygun olmayan ürünlerin artmasına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

10. Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın nedeni parçanın yolluklarından istenilen şekilde ayrılmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına yani hurda artışına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

11. Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın nedeni parçanın uygun olarak taşlanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına yani hurda artışına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

12. Parçada yüzey kalitesinin kötü olması: Bu hatanın nedeni parçaların yeterli sürede kumlanmaması ve proses kontrollerinde eksiklikten kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

13. Parçaların müşteri spesifikasyonlarına uygun olarak boyanmaması: Bu hatanın nedeni boyama operatörlerinin hangi parçayı hangi renkte boyayacağını bilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır. Süreç soru cevap şeklinde devam ettirilmektedir.

14. Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi: Bu hatanın nedeni final kontrol yapacak yetkin bir personelin olmaması ve final kontrol kriterlerinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri iadesi, müşteri şikayetlerinin artmasına neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

15. Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi: Bu hatanın nedeni sevkiyat operatörlerinin ürünün paketlenmesi için müşteri spesifikasyonlarını bilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri şikayetlerinin artmasına neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır. Süreç soru cevap şeklinde devam ettirilmektedir.

3.3.3.Olasılık (Ortaya Çıkma) – Keşfedilebilirlik (Saptama) – Şiddet (Ağırlık) Değerlerinin Belirlenmesi ve Risk Öncelik Sayısının Belirlenmesi

Olasılık (ortaya çıkma), keşfedilebilirlik (saptama) ve şiddet (ağırlık) değerlerini belirlemek için 10'luk sistem kullanılmıştır. Değerler verilirken mümkün olduğunca geçmiş veriler ve tecrübelerden yararlanılmıştır. Olasılık (ortaya çıkma), keşfedilebilirlik (saptama) ve şiddet (ağırlık) değerleri belirlenmiştir. Risk öncelik sayısı (RÖS) hesaplanırken çarpma yöntemi kullanılmıştır (Aran, 2006).

Ortaya çıkma değeri hesaplanırken aşağıdaki Çizelge 3.1.'deki değerlerden yararlanılmıştır.

Çizelge 3.1. Hatanın ortaya çıkma sıklığı (Olasılığı) (Kahraman ve Demirer, 2010)

HATANIN OLUŞMA OLASILIĞI	HATANIN OLASILIĞI (SIKLIĞI)	DERECE
Çok Yüksek	1/2'den fazla	10
	1/3	9
Yüksek	1/8	8
	1/20	7
Orta	1/80	6
	1/400	5
Düşük	1/2000	4
	1/15000	3
Pek Az	1/150000	2
	1/150000'den düşük	1

Aşağıda Çizelge 3.2.'de belirlenen hatalar ve bu hataların ortaya çıkma olasılıkları gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Hataların Ortaya Çıkma Olasılığı

Sıra No	Hata	Olasılık
1	Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	5
2	Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması	5
3	Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	5
4	Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	3
5	Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	5
6	Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	5
7	Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	6
8	Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb.gibi hataların meydana gelmesi.	5
9	Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	5
10	Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	6
11	Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	6
12	Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	6
13	Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	4
14	Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	6
15	Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	4

Keşfedilebilirlik (saptama) değeri hesaplanırken aşağıdaki Çizelge 3.3.'deki değerlerden yararlanılmıştır.

Çizelge 3.3. Keşfedilebilirlik (Saptama) (Kahraman ve Demirer, 2010)

KEŞFEDİLEBİLİRLİK	KEŞFEDİLEBİLİRLİK OLASILIĞI	DERECE
Fark Edilmez	Hatanın keşfedilebilirliği imkansız	10
Çok Az	Hatanın keşfedilebilirliği oldukça az	9
Az	Hatanın keşfedilebilirliği az	8
Çok Düşük	Hatanın keşfedilebilirliği oldukça düşük	7
Düşük	Hatanın keşfedilebilirliği düşük	6
Orta	Hatanın keşfedilebilirliği orta	5
Yüksek	Hatanın keşfedilebilirliği yüksek	4
Çok Yüksek	Hatanın keşfedilebilirliği oldukça yüksek	3
Hemen hemen kesin	Hatanın keşfedilebilirliği hemen hemen kesin	2
Kesin	Hatanın keşfedilebilirliği kesin	1

Aşağıda Çizelge 3.4.'de belirlenen hatalar ve bu hataların ortaya çıkma olasılıkları gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Hataların Keşfedilebilirliği (Saptama)

Sıra No	Hata	Keşfedilebilirlik
1	Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	5
2	Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması	5
3	Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	5
4	Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	4
5	Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	5
6	Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	5
7	Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	5
8	Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb.gibi hataların meydana gelmesi.	6
9	Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	5
10	Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	4
11	Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	4
12	Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	4
13	Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	6
14	Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	4
15	Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	4

Şiddet (ağırlık) değeri hesaplanırken aşağıdaki Çizelge 3.5.'deki değerlerden yararlanılmıştır.

Çizelge 3.5. Şiddet (Ağırlık) Etkisinin Sınıflandırılması (Kahraman ve Demirer, 2010)

ETKİ	DERECE
Uyarısız Gelen Yüksek Tehlike	10
Uyarısız Gelen Tehlike	9
Çok Yüksek	8
Yüksek	7
Orta	6
Düşük	5
Çok Düşük	4
Küçük	3
Çok Küçük	2
Yok	1

Aşağıda Çizelge 3.6.'da belirlenen hatalar ve bu hataların şiddetleri (ağırlık) gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Hataların Şiddeti (Ağırlık)

Sıra No	Hata	Şiddet (Ağırlık)
1	Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	7
2	Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması	6
3	Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	6
4	Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	6
5	Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	6
6	Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	7
7	Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	7
8	Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb.gibi hataların meydana gelmesi.	7
9	Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	7
10	Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	6
11	Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	6
12	Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	6
13	Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	5
14	Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	6
15	Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	5

3.3.4.Öncelikle Önlem Alınacak Hataların Belirlenmesi ve Öngörülen Önlemler ve Yeni RÖS Değerleri

Yukarıda ortaya çıkma, saptama ve ağırlık değerleri belirlenen hatalar için risk öncelik sayısı hesaplanır. $RÖS \geq 100$ olan hatalar için öncelikli olarak önlem almak gerekir. Bu hatalar aşağıda Çizelge 3.7.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.7. RÖS Değerine Göre Sıralanmış Hatalar

Sıra No	Hata	RÖS
1	Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	175
2	Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması	150
3	Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	150
4	Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	72
5	Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	150
6	Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	175
7	Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	210
8	Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb.gibi hataların meydana gelmesi.	210
9	Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	175
10	Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	144
11	Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	144
12	Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	144
13	Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	120
14	Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	144
15	Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	80

Bu sonuçlara göre birincil olarak önlem alınacak hatalar ve ikincil olarak önlem alınacak hatalar şu şekildedir.

1.Birincil olarak önlem alınacak hatalar

- Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi,
- Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması,
- Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi,
- Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi,

- Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi,
- Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi,
- Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb.gibi hataların meydana gelmesi,
- Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi,
- Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi,
- Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi,
- Parçada yüzey kalitesinin kötü olması,
- Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması,
- Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi,

2.İkil olarak önlem alınacak hatalar

- Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi,
- Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi,

Yukarıda belirlenen hatalar için yeterli düzeyde önlem alındıktan sonra tekrar FMEA çalışması yapılacaktır. Böylece yeni durum için hata öncelikleri bulunacaktır. Amaç sürekli iyileştirme ile hata oranlarını minimize etmektir.

Birinci aşamada önlem alınacak hatalar için belirlenen önlemler şu şekildedir.

1. Parçaya Ait Olmayan Farklı Bir Maçanın Üretilmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak oluşma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda tanımlama kartları oluşturarak maça sandıklarının üzerine yapıştırılması sağlanmıştır. Böylelikle yanlış maça sandığının üretime alınmaması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 63 olmuştur.

2. Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak oluşma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla maça üretildikten sonra kontrol edilmesi için kontrol kriterleri oluşturulmuştur. Böylelikle uygunsuz olan maçaların belirlenip bir sonraki proses sahasına taşınmamış olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

3. Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda model sicil kartlarının oluşturulması sağlanmış ve modellerin üzerine tanımlama kartları yapıştırılmıştır. Böylelikle modellerin kalıplama hattına doğru olarak bağlanması sağlanmış olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 54 olmuştur.

4. Parça da yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerin meydana gelmesi: Bu hatanın oluşmasını engellemek için proses kontrol kriterlerinin oluşturulması sağlanmıştır. Böylelikle hatanın proseste keşfedilebilirliğini arttırarak keşfedilebilirlik değeri düşürülmüş olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

5. Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hatanın oluşmasını engellemek için proses kontrol kriterlerinin oluşturulması sağlanmıştır. Hangi ürün için hangi maça hangi filtre ve besleyici kullanılacağını gösteren parça bilgi kartları oluşturulmuştur. Böylelikle hatanın proseste oluşma olasılığı ve keşfedilme değeri düşürülmüş olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 63 olmuştur.

6. Parçada döküm kaynaklı (gaz boşluğu vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla her ürün için ocak analizlerinin yazdığı döküm metot kartlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 84 olmuştur.

7. Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla her parça için ocak sıcaklıklarını belirten döküm metot kartlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 84 olmuştur.

8. Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla proses kontrol kriterinin oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 63 olmuştur.

9. Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla parçanın yolluklarından ayrılması ile ilgili proses kontrol kriterinin oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

10. Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma

olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla parçanın taşlanması ile ilgili proses kontrol kriterinin oluşturulması sağlanmış ve parça taşıma kartlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

11. Parçada yüzey kalitesinin kötü olması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla parçanın kumlanması ile ilgili proses kontrol kriteri oluşturulmuştur. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 54 olmuştur.

12. Parçaların müşteri spesifikasyonlarına uygun olarak boyanmaması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla ürün listeleri ve hangi ürünün hangi renk ve hangi kriterlerde boyanacağını belirten boyama talimatlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 45 olmuştur.

13. Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla final kontrol kriterleri tanımlayarak, yeni bir personel istihdamı sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Alınan Önlemler Sonrası İçin Hesaplanan Yeni RÖS ile Eski RÖS'ün Karşılaştırılması

Aşağıda Çizelge 4.1.'de eski rös değerleri ve yeni rös değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Eski RÖS Değerleri ve Yeni RÖS Değerleri

Sıra No	Hata	Eski RÖS	Yeni RÖS
1	Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	175	63
2	Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması	150	72
3	Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	150	54
4	Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	72	72
5	Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	150	72
6	Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	175	63
7	Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	210	84
8	Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	210	84
9	Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	175	63
10	Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	144	72
11	Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	144	72
12	Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	144	54
13	Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	120	45
14	Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	144	72
15	Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	80	80

Yukarıda Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi tüm önlemler alındıktan sonra hesaplanan yeni RÖS değerleri 100'ün altına düşmüştür. Sistemde yeterli iyileştirme sağlanmıştır.

FMEA çalışmasının sonucunda 1 numaralı hatada %64 oranında, 2 numaralı hatada %52 oranında, 3 numaralı hatada %64 oranında, 5 numaralı hatada %52 oranında, 6 numaralı hatada %64 oranında, 7 numaralı hatada %60 oranında, 8 numaralı hatada %60 oranında, 9 numaralı hatada %64 oranında, 10 numaralı hatada %50 oranında, 11 numaralı hatada %50 oranında, 12 numaralı hatada %62,5 oranında 13 numaralı hatada %62,5 ve 14 numaralı hatada %50 oranında azalma gözlenmiştir. Genel olarak analizi edilen hatalar üzerinde %50 oranında iyileşme gözlenmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Proses FMEA, üretim ve montaj aşamalarında oluşabilecek potansiyel hata türlerini, nedenlerini ve bu hataların etkilerini tahmin ederek, olasılık, şiddet ve saptanabilirlik çarpanlarını hesaplayarak sistemin tamamı üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendirerek risk öncelik sayısını belirler. Bu risk öncelik sayısına göre gerekli düzeltici faaliyetleri alarak hatanın ortaya çıkmasını önlemeyi ve hatanın müşteri üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik faaliyetlerin yazılı hale getirildiği bir ekip çalışmasıdır. Proses FMEA hata miktarının sürekli olarak azaltılması ilkesine dayanır. Bu çalışma hataları seri üretim öncesi yani hata oluşmadan önlemeyi amaçladığından hatanın müşteri üzerindeki etkileri de azaltılmış olur. Ayrıca Proses FMEA uygulaması, oluşabilecek hata türlerini ve bu hatalar için alınacak önlemleri belirleyip bir belge haline getirilmesini sağlar. Bu belge müşteriler açısından kalite bakımından bir güvenilirlik sağlayacağı için işletme imajının da artmasını sağlayacaktır.

Bu çalışma üretim parçasının, seri üretim öncesi ve sonrası meydana gelebilecek hataların tanımlanıp, önlenmesi ve hataların sürekli olarak azaltılmasını amaçlar. Bu sayede üründe oluşabilecek hatalar ürün daha üretilmeden tespit edildiğinden müşteri istek ve beklentileri sağlanmış olur, üretim sürecindeki hata maliyetleri azaltılmış olur, ürünün emniyet ve güvenilirliği sağlanmış olur, tasarım ve mühendislik zamanları azaltılmış olur ve ürün üzerindeki toplam maliyetlerde azalma meydana gelir.

Bu çalışmadaki bilgiler döküm sektöründe üretilen, bir üretim parçasının imalat öncesi ve imalat aşamasındaki iş akış şemaları ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak bir ekip tarafından analiz edilerek toplanmıştır. Bu analiz sonucunda 15 tane hata türü tanımlanmıştır. Bu hatalardan 13'ünün RÖS değeri 100 den büyük çıkmıştır. Bu 13 hatanın oluşmasını engellemek için çeşitli önlemler alınmıştır. Tüm bu önlemler alındıktan sonra tanımlanan hata türleri üzerinde yaklaşık olarak %50 oranında iyileşme meydana geldiği gözlenmiştir.

FMEA hataları tahmin ederek önlemeye yönelik ayrıntılı kontrol planları hazırlaya yardımcı olan bir tekniktir. Fakat kalite iyileştirme süreci süreklilik isteyen bir süreç olduğu için işletmelerin başarısı için kalite iyileştirme süreçlerinin bir arada kullanılması önerilmektedir. Kontrol önlemi alınan hataların İPK teknikleriyle sürekli olarak izlenmesi ve desteklenmesi daha çok faydalı olacaktır.



6. KAYNAKLAR

- Boran, S., 1996, Hata Şekli ve Etkileri Analizinin Bulanık Küme Yaklaşımıyla Çözümlemesi Olanığı, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Musubeyli Erginel, N., 2004, Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği için Bir Model ve Uygulaması, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, c. 15, s.3, ss. 17-26.
- Yılmaz, B. S., 2000, Hata Türü ve Etki Analizi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c.2, s.4, ss. 133-150.
- Aytaç, E., 2011, Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Uygulama Örneği, Doktora Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Aydın.
- Söylemez, C., 2006, Hata Türü ve Etkileri Analizi İş Güvenliği Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Şamur, M. S., 2005, Otomotiv Servislerinde FMEA ve FTA Hata Önleme Tekniklerinin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aran, G., 2006, Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Tokat.
- Algın, A., 2007, Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret üniversitesi Fen Bilimleri *Üniversitesi*, İstanbul.
- Tunçelli, B. S., 2006, Helikopter Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Kavram Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Taş, Y., Koç, K. H., 2010, Hata Türü ve Analizi Tekniğinin Mobilya Endüstrisine Yönelik Uygulaması, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, c. 2, s. 5, ss. 152-178.
- Aydın, Ö. Ö., 2004, Tasarımda Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sofyalıoğlu, Ç., 2011, Süreç Hata Modu Etki Analizini Gri Değerlendirme Modeli, *Ege Akademik Bakış*, c.11, s.1, ss. 155-164.
- Büyüktuna, O., 2012, Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Makine Sanayinde Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Denizli.
- Çelikdemir, H., 2012, Bir Otomasyon Hattında Hata Türü ve Etkileri Analizi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Akpınar, B., 2015, Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemine Gri Teori Yaklaşımının Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.

Sönmez, Y., 2017, Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Otomotiv Parçaları Üretiminde Bir Uygulama, *İşletme Bilim Dergisi (JOBS)*, 5(2), ss 217-245.

Kahraman, Ö., Demirer, A., 2010, Ohsas 18001 Kapsamında FMEA Uygulaması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c.7, no.1, ss. 53-68.



EKLER

EK-1 FMEA Formu



HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FMEA)

Parça Numarası:	Müşteri:		Süreç Sorumlusu:	Hazırlayan:	Original FMEA Tarihi:		FMEA Revizyon Tarihi:						
	Parça Adı:	Süreç Sorumlusu:			FMEA Tarihi:	Revizyon Tarihi:							
Hazırlayan Firma:		Müşteri:		Süreç Sorumlusu:		FMEA Revizyon Tarihi:							
Çokirdek Ekip:		Hazırlayan:		Süreç Sorumlusu:		FMEA Revizyon Tarihi:							
Süreç No / Süreç Adı		Müşteri:		Süreç Sorumlusu:		FMEA Revizyon Tarihi:							
Potansiyel Hata Modu	Potansiyel Hata Etkisi	Sıklık	Hatanın Potansiyel Nedenleri	Olasılık	Mevcut Süreçte Önleyici Kontrol	Mevcut Süreçte Keşfedici Kontrol	Önerilen İyileştirmeler	Sorumlular ve Tamamlanması Hedeflenen Tarih	Yapılan Faaliyet	Sıklık	Olasılık	Keşfedilebilirlik	Risk
0010/ Maça Üretimi	Parçaya Ait Olmayan Farklı Maçanın Bir Üretilmesi	7	Yanlış Maça Sandığının Belirlenmesi	5	N/A	N/A	*Maça sandıklarının üzerine tanımlama kartlarının değiştirilmesi **Üretim sırasında parça bilgi kartlarının oluşturulması			7	3	3	63
0010/ Maça Üretimi	Boyutsal Olarak Uygun Olmayan Maçanın Kullanılması (Kırık, Çatlak ve Çapak Olan)	6	Uygunsuz Olan Maçanın Bir Sonraki Proses Alanına Taşınması	5	N/A	N/A	*Maça üretildikten sonra kontrol edilmesi için proses kontrol kriteri oluşturulmalı			6	4	3	72
0020/ Kalıplama/ Modelin Belirlenmesi	Farklı Parçanın Üretiminin Gerçekleştirilmesi	6	Yanlış Modelin Hatta Bağlanması	5	N/A	N/A	*Model Sicli Kartları Oluşturulmalı			6	3	3	54
0020/ Kalıplama/ Modelin Hatta Bağlanması	Parçada Şekilsel Bozuklukların Meydana Gelmesi	6	Modelin Kalıplama Hattına Düzgün Bağlanmaması	3	Proses Kontrol	N/A							
0020/ Kalıplama/ İlk Kalıplama	Parçada Yüzeysel Bozuklukların ve Kum Düşmelerinin Meydana Gelmesi	6	Kalıp Kumunun Az Olması ve Kalıp Yüzeylerinin Kontrolünün Yapılmaması	5	N/A	N/A	*Proses Kontrol Kriterlerinin Oluşturulması			6	4	3	72

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FMEA)

Parça Numarası:		Müşteri:		Original FMEA Tarihi:		FMEA Revizyon Tarihi:					
Parça Adı:		Süreç Sorumlusu:		Yapılan Faaliyet		Keşfedilebilirlik					
Hazırlayan Firma:		Hazırlayan:		Sorumlular ve Tamamlanması Hedeflenen Tarih		Olasılık					
Çekirdek Ekibi:				Önerilen İyileştirmeler		Şiddet					
				RÖS		Keşfedilebilirlik					
				Mevcut Süreçte Keşfedici Kontrol		Mevcut Süreçte Keşfedici Kontrol					
				Olasılık		Keşfedilebilirlik					
				Hatanın Potansiyel Nedenleri		Keşfedilebilirlik					
				Sıvı		RÖS					
				Şiddet		Keşfedilebilirlik					
				Potansiyel Hata Etkisi		Keşfedilebilirlik					
				Potansiyel Hata Modu		RÖS					
0020/ Kalıplama/ Maça ve Filtre Verleştirme	Parçada Boyutsal ve Dökümden Kaynaklı (Gaz Boşluğu, Soğuk Birleşme vb.) Hataların Meydana Gelmesi	*Hurda artışı **Müşteri memnuniyetsizliği ***Sevkiyat zamanlarında aksamalar	5	Kalıba Maça, Filtre ve Besleyicilerin Konmaması veya Yanlış Konması	N/A	N/A	5	*Parça bilgi kartlarının oluşturulması	7	3	63
0030/ Ergitme/ Ocak Analizinin Hazırlanması	Parçada Döküm Kaynaklı (Gaz Boşluğu vb.) Hataların Meydana Gelmesi	*Müşteri Memnuniyetsizliği **Hurda Artışı	6	Ocak Analizinin İstenen Değerde Olmaması veya Yanlış Yapılması	Spektrometre ile Analiz Kontrollü	Proses Kontrol	5	*Döküm Metot Kartlarının Oluşturulması	7	4	84
0030/ Ergitme/ Ocak Sıcaklığının Ölçülmesi	Dart, Soğuk Birleşme, Eksik Kalıma vb. Gibi Hataların Meydana Gelmesi	*Müşteri Memnuniyetsizliği **Hurda Artışı	5	Ocak Sıcaklığının İstenen Değerden Sıcak ya da Soğuk Olması	Termokuple ile Sıcaklık Kontrollü	Proses Kontrol	6	*Döküm Metot Kartlarının Oluşturulması (Her bir parça için ocak sıcaklıkları belirtilecektir)	7	4	84
0040/ Döküm/ Derecelerin Doluluk Kontrolü	Eksik Döküm, Gaz Boşluğu, Dart, Koparma vb. Gibi Hataların Meydana gelmesi	*Hurda artışı **Müşteri memnuniyetsizliği ***Sevkiyat zamanlarında aksamalar	5	Derecelerin Yeterli Miktarda ve Uygun Hızda Doldurulmaması	N/A	N/A	5	*Proses Kontrol Kriterlerinin Oluşturulması	7	3	63
0050/ Taşıma/ Parçaların Yolluklarından Ayrılması	Parçanın Yolluklarından Ayrıldıktan Sonra Boyutsal Bozuklukların (Etten Kesme) Oluşması	*Hurda artışı **Müşteri memnuniyetsizliği ***Sevkiyat zamanlarında aksamalar	6	Parçanın Uygun Olarak Yolluklarından Ayrılmaması	N/A	N/A	4	*Parçanın Yolluklarından Ayrılması ile ilgili Proses Kontrol Kriteri Oluşturulacak	6	4	72

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (FMEA)

Parça Numarası:		Müşteri:		Original FMEA Tarihi:		FMEA Revizyon Tarihi:										
Parça Adı:		Süreç Sorumlusu:		Yapılan Faaliyet		Keşfedilebilirlik										
Hazırlayan Firma:		Hazırlayan:		Yapılan Faaliyet		Keşfedilebilirlik										
Çekirdek Ekip:		Hazırlayan:		Yapılan Faaliyet		Keşfedilebilirlik										
Süreç No / Süreç Adı	Potansiyel Hata Modu	Potansiyel Hata Etkisi	Sınıf	Hatanın Potansiyel Nedenleri	Ölçüm	Mevcut Süreçte Önleyici Kontrol	Mevcut Süreçte Keşfedici Kontrol	Keşfedilebilirlik	RÖS	Önerilen İyileştirmeler	Sorumlular ve Tamamlanması Hedeflenen Tarih	Yapılan Faaliyet	Keşfedilebilirlik	Ölçüm	Süreç Sorumlusu	
0050/ Taşlama/ Parçanın Taşlanması	Parçanın Taşlandıktan Sonra Boyutsal Bozuklukların (Etten Kesme) Oluşması	*Hürda artışı **Müşteri memnuniyetsizliği ***Sevkiyat zamanlarında aksamalar	6	Parçaların Uygun Olarak Taşlanması	6	N/A	N/A	4	144	*Parçanın Taşlanması ile ilgili Proses Kontrol Kriteri Oluşturulacak **Parça Taşlama Kartları Oluşturulacak		Yapılan Faaliyet	6	4	3	72
0060/ Kumlama/ Parçaların Kumlamasının Kontrolü	Parçada Yüzey Kalitesinin Kötu Olması	*Hürda artışı **Müşteri memnuniyetsizliği ***Sevkiyat zamanlarında aksamalar	6	Parçaların Yeterli Sürede Taşlanması ve Kontrollerinde Eksiklik	6	N/A	N/A	4	144	*Parçanın Kumlanması ile ilgili Proses Kontrol Kriteri Oluşturulacak		Yapılan Faaliyet	6	3	3	54
0070/ Boyama	Parçaların Müşteri Spesifikasyonlarına Uygun Olarak Boyanmaması	*Müşteri Memnuniyetsizliği	5	Operatörlerinin Hangi Parçayı Hangi Renkte Boyayacağını Bilmemesi	4	N/A	N/A	6	120	*Ürün Listeleri Oluşturularak Hangi Ürünün Hangi Renkte Boyanacağı Belirtilecek		Yapılan Faaliyet	5	3	3	45
0080/ Final Kontrol	Nihai Ürünün Müşteriye Uygunsuz Olarak Sevkiyat Edilmesi	*Müşteri İadesi **Müşteri Memnuniyetsizliği ***Verimlilik Kaybı	6	Final Kontrol Yapacak Personelin Olmaması ve Final Kontrol Kriterlerinin Olmaması	6	N/A	N/A	4	144	*Etkin Final Kontrol Kriterleri Tanımlanacak **Final Kontrol için Bir Personel Alınacaktır		Yapılan Faaliyet	6	4	3	72
0080/ Paketleme ve Sevkiyat	Ürünlerin Müşteri İstekleri Doğrusunda Paketlenmemesi	*Müşteri Memnuniyetsizliği	5	Sevkiyat Personellerin Paketleme için Müşteri Beklentilerini Bilmemesi	4	Paketleme Talimatı	Final Kontrol	4	80			Yapılan Faaliyet				

EK-2 Döküm Metod Kartı

DÖKÜM METOD KARTI

FİRMA:		DENEME METOD KARTI	
PARÇA NO:		SERİ METOD KARTI	
İSTENEN DÖKÜM DEĞERLERİ :		EL İLE KALIPLAMA	
PARÇA ADI :		MAKİNA İLE KALIPLAMA	
TARİH	DEĞİŞİKLİKLER	TARİH	DEĞİŞİKLİKLER
%C			
%Si	OCAK		
%Si	POTA		
%S			
%P			
%Mn			
%Cr			
%Cu			
%Mg (Kalıcı)			
%Mo			
%Sn			
%Ni			
CEV			
CEL			
Ocak Sıcaklığı(C°)			
Döküm Sıcaklığı (C°)			
Pota Metal Miktarı (Kg)			
1 Pota İle Döküm Adeti			
Derece Metal Ağırlığı (Kg)			
Döküm Süresi (Sn)			
Aşıluyıcılar (%gr)			
FeSiMg (%gr)			
Çekme Çubuğu Açma Süresi (dk)			
Derece Açma Süresi (dk)			
Malzeme (Grade)			
Sertlik (HB)			
Faydalanılan Kaynak			
Tanzim Tarihi :	/20.....		
Kart Numarası :			

MODEL SİCİL KARTI**Parçanın Yolluklarından Ayrılacak Bölgeleri****Parçanın Taşlanacak Bölgeleri****Parçanın Kumlama Süresi ve İlgili Görseller****Parçanın Boyama Kriterleri**

Renk	
Kalınlık	
Diğer Özellikler	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sariye Şençoban Kaya
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya 18.02.1991
Telefon : 05546186411
Faks :
e-mail : sariye.sencoban@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Cemil Keleşoğlu Lisesi, Karatay, Konya	2009
Üniversite	: Süleyman Demirel Üniversitesi, Merkez, Isparta	2015
Yüksek Lisans :		
Doktora :		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi Kalite Dokümantasyon Sorumlusu – PPAP Süreç Sorumlusu
2017	Koçak Metalurji	
2018	Starwood Orman Ürünleri	Üretim Planlama- Proje (SAP) Mühendisi

UZMANLIK ALANI: Endüstri Mühendisliği

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR