

**T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**OTOMOTİV YAN SANAYİNDE
SÜREÇ HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ
VE BİR UYGULAMA**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**Ergün KORU
BURSA 2006**

**T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**OTOMOTİV YAN SANAYİNDE
SÜREÇ HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ
VE BİR UYGULAMA**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**Ergün KORU
BURSA 2006**

TC.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

..... ait

..... adlı çalışma, jürimiz tarafından

..... Anabilim / Anasanat Dalı,

..... Bilim Dalında Yüksek Lisans/ Doktora/
Sanatta Yeterlilik tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan
Akademik Ünvanı, Adı Soyadı

İmza

Üye (Danışman)..... Üye.....
Akademik Ünvanı, Adı Soyadı Akademik Ünvanı, Adı Soyadı

İmza

Üye..... Üye.....
Akademik Ünvanı, Adı Soyadı Akademik Ünvanı, Adı Soyadı

OTOMOTİV YAN SANAYİNDE SÜREÇ HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ VE BİR UYGULAMA

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

ÖZET

İşletmelerin, sıkı rekabet ortamlarında varlıklarını sürdürebilme koşullarından en önemlisi “sıfır hata” hedefine ulaşmaktır. Bu da onları, hata önleme tekniklerini kullanmaya zorlamaktadır. Hataları müşteriye ulaşmadan önce belirleyip, ortadan kaldırarak kusursuzluğa ulaşmayı amaçlayan hata önleme tekniklerinin en önemlilerinden birisi Hata Türü ve Etki Analizi yöntemidir. Bu yöntemin son yıllarda oldukça geniş uygulama alanı bulmakta olduğu gözlenmektedir. Yöntemin uygulama alanlarının hızla artmasının en önemli nedeni, diğer teknikler gibi sadece hatayı ortaya çıkarmakla yetinmemesi, hataların ortaya çıkmasını önleyecek önlemlere de yer veriyor olmasıdır.

Bu çalışmanın amacı, hata türü etki analizi yönteminin yararları, uygulamada karşılaşılan zorlukları, uygulama alanları ve otomotiv sektöründeki uygulamalarının incelenmesidir.

Sayfa Adedi: **138**

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Feray Odman ÇELİKÇAPA

TEŞEKKÜR

Bana 'Hata TÜRü ve Etkileri Analizi' gibi önemli konuda çalışma olanağı veren, Hocam Sayın Prof. Dr. Feray Odman ÇELİKÇAPA'ya, sıkıntılarımı paylaşan ve beni sürekli destekleyen aileme, yoğun çalışma tempolarında dahi beni yalnız bırakmayan OTOSİMA'daki tüm mesai arkadaşlarıma (özellikle Berkant DÖNMEZ'e) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
1. TOPLAM KALİTE SİSTEMİ VE SÜREÇ, HATA KAVRAMI.....	3
1.1. Toplam Kalite.....	3
1.1.1. Toplam Kalite Yönetimi Anlayışının Gelişimi.....	4
1.1.2. Toplam Kalite Yöntemi.....	4
1.2. Süreç ve Hata Kavramı.....	5
1.2.1. Süreç Kavramı.....	5
1.2.2. Değişkenlik Kavramı.....	5
1.2.3. Hata ve Hata Sınıflandırması.....	6
1.2.3.1. Meydana Geldiği Aşamaya Göre Hata Sınıflandırması.....	8
1.2.3.2. Sonuçlarına Göre Hata Sınıflandırması.....	8
1.2.3.3. Zamana Göre Hata Sınıflandırması.....	10
1.2.3.4. Nedenlerine Göre Hata Sınıflandırması.....	11
1.2.4. Tasarım Hataları.....	11
1.2.5. Üretim Hataları.....	12
1.2.6. Karar Vermede Hata.....	13
1.2.7. Örneklem Hataları.....	14
1.2.8. Yazılım Hataları.....	15
1.2.9. Hata Maliyetleri.....	15
2. RİSK KAVRAMI, HATA VE RİSK DEĞERLENDİRME	
METODOLOJİLERİ.....	16
2.1. Risk Haritası.....	19

2.2. Ön Tehlike Analizi – (Preliminary Hazard Analysis - PHA)	19
2.3. İş Güvenlik Analizi – JSA (Job Safety Analysis).....	19
2.4. Olursa Ne Olur? (What If ?).....	20
2.5. Çeklist Kullanılarak Birincil Risk Analizi -(Preliminary Risk Analysis (PRA) Using Checklists).....	20
2.6. Birincil Risk Analizi -(Preliminary Risk Analysis (PRA)).....	20
2.7. Risk Değerlendirme Karar Matrisi(Risk Assessment Decision Matrix).....	21
2.8. Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi (Hazard and Operability Studies- HAZOP).....	21
2.9. Hata Ağacı Analizi Metodolojisi (Fault Tree Analysis-FTA).....	21
2.10. Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi Metodolojisi - (Failure Mode and Effects Analysis- FMEA).....	26
2.11. Güvenlik Denetimi (Safety Audit).....	27
2.12. Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis - ETA).....	27
2.13. Neden – Sonuç Analizi (Cause-Consequence Analysis).....	30
2.14. Risk Değerlendirme Metodolojilerinin Karşılaştırılması.....	32
3. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ.....	35
3.1. FMEA'nın Tarihsel Gelişimi.....	35
3.2. FMEA Hata Türü ve Etkileri Analizinin Önemi.....	35
3.3. FMEA Yapılması İçin Gerekli Koşullar.....	37
3.4. FMEA'nın Çalışma Prensipleri.....	38
3.5. FMEA'nın Adımları.....	38
3.6. FMEA ve Toplam Kalite.....	39
3.7. FMEA'nın Amaçları.....	41

3.8. FMEA ’dan Beklenen Yararlar.....	41
3.9. FMEA ’nın Başlatılması, Günün Gereksinmelerine Göre Düzenlenmesi ve Tamamlanması.....	42
3.10. Hata Türleri ve Etkileri Analizinin Türleri.....	43
3.10.1. Tasarım FMEA.....	45
3.10.1.1. Tasarım FMEA Ekibi.....	46
3.10.1.2. Tasarım FMEA ’nın Çıktıları.....	47
3.10.2. Süreç FMEA.....	48
3.10.2.1. Süreç FMEA Ekibi.....	48
3.10.2.2. Süreç FMEA ’nın Çıktıları.....	49
3.10.3. Tasarım ve Süreç FMEA Arasındaki Farklılıklar.....	51
3.11. Hata Türleri ve Etkileri Analizinde Kullanılan Bazı Araçlar.....	52
3.11.1. Kalite Fonksiyon Açılımı (QFD).....	52
3.11.1.1. QFD ’nin Faydaları.....	53
3.11.1.2. QFD Süreci.....	55
3.11.2. Sınır Diyagramı.....	55
3.11.3. Etkileşim Matrisi.....	57
3.11.4. P (Parametre)- Diyagramı.....	58
3.11.5. Süreç Akış Diyagramı.....	61
3.11.6. Ürün Özellik Matrisi.....	62
3.12. Süreç Yaklaşımında FMEA İle Birlikte Kullanılan Metodlar.....	63
3.12.1. İleri Ürün Kalite Planı ve Üretim Parçası Onay Süreci – Advanced Product Quality Plan & Production Part Approval Process (APQP&PPAP).....	64
3.12.2. İstatiksel Proses Kontrol-Statistical Process Control (SPC).....	64
3.12.3. Ölçüm Sistemleri Analizi-Measurement System Analysis (MSA).....	65
3.12.4. Süreç Yaklaşımında FMEA ’nın Yeri.....	66

3.13. FMEA'nın Uygulanmasında Kullanılan Değişik Yöntemler.....	67
3.13.1. Bulanık Kural Tabanı Yaklaşımı.....	67
3.13.1.1. Bulanık Üyelik Fonksiyonu.....	68
3.13.1.2. Bulanık Esaslı Kuralların Geliştirilmesi.....	72
3.13.1.3. Risk Önceliği Sıralaması.....	73
3.13.2. Gri Teori Yaklaşımı.....	74
3.13.2.1. Karşılaştırmalı Seriler.....	76
3.13.2.2. Standart Seriler.....	77
3.13.2.3. Fark.....	77
3.13.2.4. Gri İlişki Katsayısı.....	78
3.13.2.5. Gri İlişki.....	79
4. SÜREÇ FMEA.....	81
4.1. Süreç FMEA'nın Genel Tanımı.....	81
4.2. Süreç FMEA Çalışma Ekibinin Oluşumu.....	82
4.3. FMEA Gerçekleştirme Aşamaları, Süreç FMEA Prosedürü.....	85
4.4. Süreç Aşamaları.....	86
4.5. Hata Türünün Tanımlanması.....	86
4.6. Etkinin (Sonucun) Tanımlanması.....	88
4.7. Nedenlerin Tanımlanması.....	89
4.8. Kontrol Önlemlerinin Tanımlanması (Değerlendirmeler/Kontroller).....	91
4.8.1 Kontrol Önlemleri.....	92
4.8.2. Analizin İlk Aşaması İçin Kontrol Listesi.....	93
4.8.3. FMEA Parametrelerinin Derecelendirilmesi.....	93

4.9. Puanlandırma Sistemi.....	94
4.9.1. Hata/Neden Olasılığı.....	94
4.9.2. Hatanın Şiddeti.....	95
4.9.3. Hatanın Keşfedilebilirliği.....	98
4.9.4. Keşfedilebilirlik Tahmini.....	101
4.9.5. Keşfedilebilirlik Tahmininde Genel Kısıtlar.....	102
4.10. Risk Öncelik Sayısı.....	104
4.11. Önerilen İyileştirmeler.....	106
4.12. Düzeltici Önlemlerin Gerçekleştirilmesi.....	111
5. OTOMOTİV YAN SANAYİİNDEN SÜREÇ FMEA	
UYGULAMA ÖRNEĞİ.....	112
5.1. Süreç FMEA Kullanma Kılavuzu.....	112
5.2.FMEA'nın Doğru Zamanda Uygulanmaması Durumunda Yaşanabilecek Kayıplar.....	120
5.3. Süreç FMEA Uygulama Örneği.....	124
SONUÇ.....	130
KAYNAKLAR.....	132
ÖZGEÇMİŞ.....	138

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1	Risk Değerlendirme Metodolojileri Karşılaştırma Tablosu-1.....	32
Tablo 2.2	Risk Değerlendirme Metodolojileri Karşılaştırma Tablosu-2.....	33
Tablo 3.1	Tasarım – Süreç FMEA Arasındaki Farklılıklar.....	51
Tablo 3.2	Bir Etkileşim Matrisi Örneği.....	58
Tablo 3.3.	Ürün Özellik Matrisi Örneği.....	63
Tablo 3.4.	Dilsel Terimlerin Yorumları Tablosu.....	71
Tablo 4.1.	Olasılık, Şiddet, Keşfedilebilirlik Derecelendirme Ölçeği.....	93
Tablo 4.2.	Olasılık Derecelendirme Tablosu.....	95
Tablo 4.3.	Şiddet Derecelendirme Tablosu.....	97
Tablo 4.4.	Keşfedilebilirlik Derecelendirme Tablosu.....	100
Tablo 5.1.	Hataların Sınıflandırılmasında Kullanılan Özel Karakteristik Tablosu.....	115
Tablo 5.2.	Hataların Sınıflandırılmasında Kullanılan FIAT Özel Karakteristik Tablosu.....	116
Tablo 5.3.	Süreç FMEA Kontrol Tablosu.....	118
Tablo 5.4.	FMEA'nın Zamanında Yapılmaması Nedeniyle Oluşan Kalite Verilerinin Karşılaştırma Tablosu.....	122
Tablo 5.5.	FMEA'nın Zamanında Yapılmaması Nedeniyle Oluşan Kalitesizlik Maliyeti Tablosu.....	123

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	Hata Ağacı Analiz Şemaları24
Şekil 2.2.	Hata Ağacı Oluşturma Aşamaları.....25
Şekil 2.3.	Olay Ağacı Genel Durum.....28
Şekil 2.4.	Bernoulli Modeli.....29
Şekil 2.5.	Olay Ağacından Hata Ağacına Dönüşüm.....30
Şekil 2.6.	Neden - Sonuç Analizi Diyagramı.....31
Şekil 3.1	FMEA Takımı.....38
Şekil 3.2.	Toplam Kalitenin Üç Bölgesi.....39
Şekil 3.3.	FMEA Türleri ve Aralarındaki İlişkiler.....44
Şekil 3.4.	Far Seviye Ayar Sistemi İçin Sınır Diyagramı Örneği.....57
Şekil 3.5.	P-Diyagramı60
Şekil 3.6.	Ön Far Montajı – Makro Akış Diyagramı61
Şekil 3.7.	Ön Far Montajı – Mikro Akış Diyagramı.....62
Şekil 3.8.	Bulanık Kural Tabanı Yaklaşımının Akış Diyagramı.....70
Şekil 3.9.	Dilsel Terimlerin Üyelik Fonksiyonu.....72
Şekil 3.10.	Gri Teori Yaklaşımı Akış Diyagramı.....74
Şekil 3.11.	Dilsel Değişken Orta (Moderate)’nın Durulaştırılması.....76
Şekil 4.1.	Risk Önceliği.....103
Şekil 4.2.	Hata Nedenleri Diyagramı-1.....105
Şekil 4.3.	Hata Nedenleri Diyagramı-2.....106
Şekil 4.4.	Önerilen İyileştirmeler.....108
Şekil 4.5.	Süreç FMEA Formu113

GİRİŞ

Zaman içinde müşteri beklentilerinin hızla değişmesi ve yasal zorunluluklar nedeniyle endüstrinin olası problemlerini belirlemek ve önlemeye yönelik bir tekniğin sistemli bir şekilde kullanılmasına olan gereksinme, eskiye göre daha da artmıştır.¹

Bugün artık dünyada, ana ürünü imal eden şirketler, yan sanayilerinden sağladıkları parçalar için Süreç Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Süreç HTEA) çalışması yapılmasını, yan sanayi tarafından tasarlanarak üretilen parçalar için de Tasarım ve Süreç Hata Türleri ve Etkileri Analizi çalışmasının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Tam olarak uygulanıp sonuçlandırılmış bir Hata Türleri ve Etkileri Analizi çalışması, çıkabilecek pek çok hata türünün önlenmesini sağlamaktadır. Otomotiv yan sanayinde Hata Türü ve Etkileri Analizi ifadesi yerine genel olarak bu metodun İngilizce tanımının (Failure Mode Effect Analysis) başharflerinin bir araya getirilerek oluşturulmuş kısaltması olan FMEA da kullanılmaktadır.

FMEA hazırlık sorumluluğunun bir kişiye verilmesine karşılık, bu çalışmanın bir ekip çalışması gerektirdiği bilinmelidir. Çeşitli ürünler için, bilgili ve deneyimli kişilerden oluşan bir ekip kurulur. Bu ekip genellikle tasarımda uzman mühendisler, imalatçılar, montaj, servis ve / veya kalite sorumlularından oluşur. Bunun ile beraber, Tasarım FMEA şirketteki tasarım mühendislerinin, Süreç FMEA da şirketteki süreç mühendislerinin öncülüğünde başlatılır.²

Bir FMEA programının başarılı olarak gerçekleştirilmesindeki en önemli faktörlerden birisi tam zamanında yapılmasıdır. Bunun anlamı da, sorunla karşılaşılmadan önce gerekli önlemlerin alınmasıdır. Her türlü hata / arıza (sonuç) müşteri üzerine olacak etkilerinin tipine ve onu yaratabilecek olası nedenlere göre analiz edilir.

¹ Çiğdem, S. , “Hata Türü ve Etkileri Analizi”, 2.b.,Çayırova :Koç Holding Yayını, 1995, s.2.

² Çiğdem, S. , “Hata Türü ve Etkileri Analizi”, s.2.

FMEA üretime başlamadan önce ele alınır ve olası hata türlerinin ve nedenlerinin sıralanmasını kapsar. FMEA çalışmaları hataları önleyici gerekli önlemleri belirler ve böylece hasar görecektir veya yerine takılmayacak bir parçanın müşteriye ulaşmasını önler. Bu çalışmanın amacı, parçanın planlanan üretim veya montaj operasyonuna göre dizayn karakteristiklerini analiz edip sonuçta müşterinin beklenti ve gereksinimleri karşılayacağından emin olmaktır.³

Olası hata nedenleri belirlendiğinde, bunu önleyici tedbirler alınabilir veya tekrarlanması azaltılır. Ayrıca FMEA çalışmaları üretim veya montaj işlerinin rasyonel hale gelmesine yardımcı olur. Çok çabuk gelişen müşteri istekleri, yasal zorlamalar ve tavırlar, hataları önleyici ve sistemli bir teknoloji kullanımını eskiye oranla daha önemli kılmıştır. Bu nedenle, üretim ve montaj süreçlerindeki problemlerin önlenmesi FMEA'lar yardımıyla sistemli bir şekilde alınmıştır. Hedef, bir ürünün imalat ve montaj süreçlerinin analiz edilmesini ve ürünün müşteri beklenti ve gereksinimlerini karşılamasını sağlamaktır.

FMEA, potansiyel hataların tespitinden sonra, bu hataların tamamen ortadan kaldırılması veya en azından tekrarlanma olasılığını azaltmak için gerekli iyileştirme tedbirlerinin ortaya konulmasını sağlar. Ayrıca, FMEA, geliştirilmiş olan üretim ve montaj süreçlerinin mantıklı bir temele oturtulmasını belgeledir, hataların belirlenmesi veya kaçınılmasına yönelik kontrolleri ortaya koyar. Bu esnada, uygulanacak giderme önlemlerinin sırasını belirleyen Risk Öncelik Göstergesi (RÖS) ile bağlantılı olarak bir hatanın ortaya çıkması ve çıkarılması olasılığını ortaya koyar. Bu analitik metot yeni bir model parça programının, üretim planlaması sırasında bütün yeni ve değişiklik yapılan imalat ve montaj aşamalarında uygulanır. Deneyimler göstermiştir ki, FMEA programları uygulanmış ve kritik hatalar izlenebilmiş olsaydı, yukarıda belirtilen toplu değişiklik gereksinimleri doğmazdı.

1. TOPLAM KALİTE SİSTEMİ VE SÜREÇ, HATA KAVRAMI

1.1. Toplam Kalite

Kalite kavramının çok boyutluluğu ve buna bağlı olarak kalite sağlama görevinin basit bir ayıklamanın ötesinde bir anlam kazanması, uluslararası rekabetin koşullarının zorlaşması ve tüketim hareketinin evrenselleşmesi ile birlikte kalitenin bütünsel bir anlayışla ele alınması gereğini doğurmuştur. Bu anlayış, pazardaki müşterilerin sürekli olarak artan ve gelişen talep ve beklentilerine paralel bir şekilde kaliteli ürün ve süreçlerin geliştirilip tasarlanmasından başlayarak üretim ve üretim sonrası aşamalarda ekonomikliği, kalite ve müşteri tatminini en üst düzeyde sağlayabilecek bir kalite sağlama uygulamasını da gerekli kılmıştır.

Kaliteye ve onun sağlandığı sürece bütünsellik içinde bakma gereği 1980'li yılların başından itibaren "toplam kalite" kavramının tüm dünyada yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bu kavram içinde yer alan "toplam" sözcüğü kalitenin "tüm süreçlerde", "tüm işlerde" ve "herkesin katılımı" ile sağlanabilir olmasına işaret etmektedir.

Toplam kalite, kalitenin standartlara ve spesifikasyonlara uygunluk olarak yapılan geleneksel tanımının ötesinde bir anlam içerir. Buna göre kalite, kullanıcının ya da müşterinin tatmin olma derecesi olup, bu da ürünün kullanımı ile ilgilidir.⁴ Diğer bir deyişle

³ Uğur, Naci, "Tasarımda ve İmalat Montaj Süreçlerinde Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi", Ankara:KOSGEB Eğitim Merkezi Yayını, 1997, s.5.

⁴Şimşek, M., "Sorularla Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemleri", Alfa Basım Yayım Ltd. Şti., İstanbul, 2000.

toplam kaliteye ulaşıp ulaşılmadığını müşteriler belirler. Toplam kalite için toplam müşteri tatmini gerekmekte olup, bu da kuruluş içinde bölümler, birimler ve fonksiyonlardan oluşan içsel müşterilerle birlikte kuruluş dışı alıcılar olarak tanımlanan dışsal müşterilerin tatminidir.

Toplam kalite, kuruluşlarda iş yapma ve çalışma anlayışını da etkilemiştir. Bu etki, belirli alanlarda uzmanlaşmış ve birbirinden ayrı iş bölümlere yerine günümüzde, birbiri ile karşılıklı ilişki halinde ve sürekli olarak bilgi geri beslenen iletişim kanallarının açık olduğu organizasyonel yapılanmaları getirmiştir. Toplam kalite hedefine, kuruluş içinde haberleşme ve iletişimin geliştirilmesi, eğitim ve öğrenmenin hızlandırılarak sürdürülmesi, katılımcılığın güçlendirilmesi ve her alanda sürekli iyileştirme anlayışının egemen kılınması ile ulaşılabilir.

1.1.1. Toplam Kalite Yönetimi Anlayışının Gelişimi

Toplam Kalite Yönetimi anlayışı II. Dünya Savaşından sonra ortaya çıkan Japon mucizesi ile birlikte anılır olmuştur da bunun temellerinin Amerikalılar tarafından atıldığı bilinmektedir.

II.Dünya savaşından bu yana geçen süre içerisinde Toplam Kalite Yönetimi kavramının gelişimine katkıda bulunanları üç grupta toplamak mümkündür :

1. Kalite konusundaki mesajları Japonlara ileten ilk Amerikalılar,
2. Amerikalıların mesajları karşısında yeni kavramlar geliştiren Japonlar,
- 3 . Japonların sanayideki başarısı karşısında ortaya çıkan Batılı yeni “grup”lar.

1.1.2. Toplam Kalite Yönetimi

Toplam Kalite Yönetimi'ne Dr. Deming tarafından tanımlanmış olan yeni bir yönetim anlayışı ile adım atılmıştır:

“İnsanlar belirli bir sistem için çalışırlar. Bu sistemde yöneticinin görevi, tüm çalışanların katılım ve desteği ile sistemi sürekli iyileştirmektir.”

Bu tanım çerçevesinde bir kuruluşun geleneksel yönetim anlayışından uzaklaşarak Toplam Kalite Yönetimi'ne yaklaşım yapabilmesi kültürel bir dönüşümü gerektirmektedir. Bu kültürel dönüşümün başarılı bir şekilde yaşanabilmesi için yenilikçi kavram ve uygulamaların yerleştirilmeye çalışılması gerekmektedir.

1.2. Süreç ve Hata Kavramı

1.2.1. Süreç Kavramı

Otomotiv sektöründe en genel tanımla süreç, birtakım girdilerin tanımlı bir yöntemle bağli olarak insan, makine, ekipman v.b. öğeler yardımı ile çıktıya dönüştürülmesi aşamalarının tümünü ifade eder. Üretim işletmelerinde süreç yerine genel olarak proses ifadesi de kullanılır. Ana süreç, alt süreçlerin birleşiminden oluşur. tanımlar.

Süreçin oluşumu için öncelikle bir ya da daha fazla girdi gereklidir. Girdiler firma içi ve dışındaki tedarikçi ve/veya müşterilerden gelebilir. Söz konusu girdiler, ürün, yarı mamul, rapor, yazılım, fatura v.b. gibi soyut ve somut olabilir.

1.2.2. Değişkenlik Kavramı

Yaşamın doğasında değişkenlik vardır. Değişkenliğin var olduğu sistemler, doğal sistemlerin yanı sıra insan yapımı sistemler de olabilir. Pek çok durumda değişkenlik söz konusu olduğundan, belirsizlik de kaçınılmaz olacaktır.

Değişkenlik çeşitli nedenler sonucu ortaya çıkar. Bu sistem içinde değişkenlik,

- Kaynağı belirlenebilen değişkenlik,
- Rasgele değişkenlik

şeklinde iki sınıfta ele alınabilir.

Kaynağı belirlenebilen değişkenlik, sistemin parçası olmayan, her zaman gözükmeyen, özel durumlardan dolayı ortaya çıkan, kaynağı belirlenebilen, sistemin davranışında değişme olarak karşımıza çıkan değişkenliktir. Değişme, özel nedenler sonucu değişkenin önceden belirlenen doğal değişme aralığının sınırları dışında yer alması şeklinde algılanır. Bir kuruluşun rekabet koşullarında varlığını sürdürebilmeleri amacıyla teknolojisinde yaptığı bu yeniliğin (değişiklik) veya araştırma-geliştirme faaliyet sonuçlarını uygulamaya konması esnasında üretim sürecinde yapılan değişikliğin, ürün miktarında meydana getirdiği değişme, bilerek yapılan değişikliklerdir. Çalışanların, makinaların, malzemelerin, yöntemlerin ve benzeri üretim faktörlerinin istenen performansı ve özellikleri sağlayamamasından dolayı çıktılarda meydana gelen, istenmeyen yön ve boyuttaki değişme ise istenmeyen değişmedir. Bu değişme, hata olarak algıladığımız değişkenliktir.

Rasgele değişkenlik, belirli bir nedenle ilişkilendirilemeyen ve genel olarak pek çok nedenin çok küçük boyutlardaki etkilerinin rasgele bir araya gelmesiyle ortaya çıkan, kaçınılmaz ve doğal kabul edilen bir değişkenliktir. Yani, sistemin doğasında var olduğu kabul edilen ve belirli sınırlar içerisinde yer alan değişkenliktir. Bu değişkenlik ölçülebilirse, kaynağı belirlenebilen nedenlerle ortaya çıkan değişme fark edilebilir.

Genellikle sistemlerdeki değişkenliğin tamamen ortadan kaldırılması istenir, fakat bu çok güç olduğundan, mümkün olduğu kadar en aza indirmek hedeflenir. Hedef sistemlerde aynı girdilerle, birbiriyle çok farklı olmayan çıktılar üretmektedir. Bunu sağlayabilmek için de değişkenliğin boyutlarını, ölçülerini, nelere hangi koşullarda ne ölçüde bağlı olduğunu belirlemek gerekir.

1.2.3. Hata ve Hata Sınıflandırması

Hata, orkideler arasında yetişen yaban otuna benzer. Hatanın ortaya çıkışı, yaban otunun yetişmesi gibi bir doğal olaydır. Hatanın tanımı hakkında evrensel bir uyuşma yoktur. Kişilere göre farklı şekillerde tanımlanır. Örneğin, 100.000 km'lik kullanımdan

sonra patlayan bir araba lastiği, şanssız araba sürücüsü için bir hata oluyorken, lastik üreticisi için bu bir başarı olabilir.

Hata kısaca, tanımlanan işlevleri yerine getirme kabiliyetindeki kayıp olarak tanımlanabilir. Landers (1963) de benzer şekilde, hatayı “bir birim veya sistemin, parametrelerinin önceden belirlenen sınırların dışına çıkması sonucu, beklenen işlevlerini yerine getirme yetersizliği” olarak tanımlar. Bu durumda bir sistem, bir ürün veya bir birim için hata, sahip olunması gereken özelliklerde bir sapma veya istenen işlevi yerine getirememe veya eksik yerine getirme durumudur.

Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO)’nun yapmış olduğu hata tanımları ⁵

- Birimin, istenen işlevini yerine getirmek için işlevsel kabiliyetinin bitimi,
- Belirlenen limitlerle istenen işlevini yerine getirmek için sistem veya sistem bileşeninin yeterli olmayışı,
- Program isteklerinden, programın uygulamadaki sapması şeklindedir.

Hata ile ilgili yapılan çalışmalar yaklaşımlar açısından,

- Niceliksel yaklaşım,
- Nedensel yaklaşım

olmak üzere iki grupta toplanır ⁶

Hataların nicelik yönünden incelendiği niceliksel yaklaşımda güvenilirlik analizi çalışmaları söz konusudur. Hataların niceliksel gösterimi, hatanın daha iyi anlaşılmasını sağlar. Bu, istenen durumdan sapma miktarının sayı ile gösterilmesi veya hatanın olasılık düzeyinde tanımlanmasıyla yapılabilir.

Nedensel yaklaşımda, hata nedenlerini, bunların hata şeklinin ortaya çıkışındaki etkilerini belirlemek, ortadan kaldırmak veya en aza indirmek hedeflenir.

⁵ IEEE STD 729, “**Standard Glossary of Software Engineering Terminology**”, The Institute of Electrical and Electronic Engineers, 1983.

⁶ Stamatis, “**Failure Mode and Effect Analysis-FMEA From Theory to Execution**”, ASQC Quality Press, Wisconsin, 1995.

Son yıllarda, hata konusunda yapılan çalışmaların daha çok sıfır hata seviyesine ulaşmak için, niçin hatalı olduğunu belirleme üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak sistem analistleri, mühendisler, tasarımcılar ve yöneticilerin kullanabilecekleri ürün veya sistemler için bir standard hata sınıflandırmasının gerçekleştirilmesi amacıyla yapılmış bir çalışma ise yoktur.

Kaynaklarda farklı şekillerde çeşitlendirilen hatalar, genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Meydana geldiği aşamaya göre,
- Sonuçlarına göre,
- Zamana göre,
- Nedenlerine göre.

1.2.3.1. Meydana Geldiği Aşamaya Göre Hata Sınıflandırması

Meydana geldiği aşamaya göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- **Tasarımla ilgili hatalar**, işlemsel zorlanmanın dayanıklılığı aştığı zaman ortaya çıkan hatalardır.
- **Üretimle ilgili hatalar**, tasarım özellikleri üretim sürecindeki faktörlerde bozulduğu zaman ortaya çıkan hatalardır.
- **Kullanımla ilgili hatalar**, normal çalışma ömrü esnasında aşırı işlemsel zorlama veya bakımla ilgili sorunlardan kaynaklanan hatalardır.

1.2.3.2. Sonuçlarına Göre Hata Sınıflandırması

Sonuçlarına göre hatalarla ilgili farklı sınıflandırmalar yapılabilir. En yaygın olan bir sınıflandırma aşağıdaki gibidir :⁷

- **Felaket getirici hata**, ölüme ve sistem üzerinde çok büyük hasara yol açan hatalardır.
- **Kritik hata**, ciddi yaralanma, büyük mal kaybı ve sistem üzerinde büyük hasara neden olan hatalardır.
- **Küçük hata**, küçük yaralanma, küçük mal kaybı veya küçük sistem hasarına neden olan hatalardır.
- **Çok küçük hata**, yaralanmaya, mal kaybına, sistem hasarına neden olmayan, planlanmamış bakım ve tamir gerektiren hatalardır.

Diğer bir sınıflandırma, ortaya çıkan hatanın sistemin veya ürünün *işlevini yerine getirme* durumuna göre,

- Son hatalar,
- Aralıklarla meydana gelen hatalar

şeklindedir .⁸

Son hata durumunda, bir sistem veya ürün artık işlevini yerine getiremez, çalışamaz, işlemek durumdadır. Bu nedenle bu tür hatalar “tamir edilemez hatalar” olarak da adlandırılırlar. Aralıklarla meydana gelen hata, çeşitli nedenlerle zaman dilimi içerisinde farklı zaman noktalarında ortaya çıkan, çeşitli düzeltmelerle tekrar işlevini yapacak hale getirilen ürün, sistem hatasıdır. Hatalı durum kısa bir süre sürer. “Tamir edilebilir hata” olarak da adlandırılır.

İnsan, makine, malzeme üzerindeki sonuçların ortaya çıkma anının hızlılığına bağlı olarak da hata sınıflandırması yapılabilir. Buna göre hatalar,

- Hemen ortaya çıkan hatalar,
- Belirli bir gecikme ile ortaya çıkan hatalar

şeklinde sınıflandırılabilir.

⁷ MIL-STD 1629A, “**Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**”, Department of Defence, USA, 1984.

⁸ Polovko, Trans. By W.H. Pierce, “**Fundamentals of Reliability Theory**”, Academic Press New York: 6-10, 1968.

Hatalı üretilen bir ilacın kullanımında zehirlenme olayı hemen görülürken, hatalı üretilen bir kumaşta renk atma olayı zamanla gözükecektir. Sonucu çabuk ortaya çıkan hatanın düzeltilmesi de çabuk olacaktır. Hatanın ortaya çıkma sıklığına göre de hata sınıflandırması yapılabilir. Bu sınıflandırma niteliksel olarak yapılabileceği gibi bir olasılık değeri atanarak niceliksel olarak da tanımlanabilir.

Hata gözükme sıklığına göre bir sınıflandırma aşağıdaki şekilde verilebilir.⁹

- **Çok sık gözükten hata**,gözükme olasılığı > 0.20 olan hatalardır
- **Oldukça sık gözükten hata**, gözükme olasılığı > 0.10 ve < 0.20 olan hatalardır.
- **Arasına gözükten hata**, gözükme olasılığı > 0.01 ve < 0.10 olan hatalardır.
- **Oldukça az gözükten hata**, gözükme olasılığı >0.001 ve <0.01 olan hatalardır.
- **Son derece az gözükten hata**,gözükme olasılığı <0.001 olan hatalardır.

Sistemin bir bileşeninin hatasının, diğer bileşenlerin hataları sonucu ortaya çıkması durumuna göre hatalar şu şekilde sınıflandırılır :

- **Bağımlı hatalar**, diğer hataların sonuçlarından etkilenme sonucu ortaya çıkan hatalardır.
- **Bağımsız hatalar**,diğer hataların sonuçlarından etkilenmeyen hatalardır.
-

1.2.3.3. Zamana Göre Hata Sınıflandırması

Zamana göre hata sınıflandırması çeşitli şekillerde yapılabilmektedir. Oluşturulan bir sınıflandırmaya göre hatalar,

- Ani hatalar,
- Kademeli olarak meydana gelen hatalar

olmak üzere iki çeşittir.

⁹ MIL-STD 1629A, “Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis”, Department of Defence, USA, 1984.

Ani hata, ürün veya sistemin zorlanması sonucu işlevlerini aniden kaybederek yerine getirememesi durumudur. Bu tür hata kullanım süresinden ve kullanım şartlarından bağımsız olarak ortaya çıkar. Örneğin, yerdeki keskin bir nesne sonucu otomobil lastiğinin patlaması olayı, lastik ve otomobilin her ikisinin durumundan bağımsız olarak gerçekleşmiş bir durumdur.

Kademeli hata, aşınma ve eskimenin etkilerinin bir araya gelmesiyle zamanla ortaya çıkan hatalardır. Ürün veya sistemin zamanla fonksiyonunu yerine getirme yeteneğinin kaybolması veya çıktının azalması şeklinde kendini gösterir. Kademeli hatalar aynı zamanda, ani hataları etkileyen hatalardır.

1.2.3.4. Nedenlerine Göre Hata Sınıflandırması

Hataların bir diğer sınıflandırması, ürünün hatalı olmasına yol açan hata nedeni kaynaklarına göre yapılabilir. *Ürün esaslı hata nedenlerine* göre bir sınıflandırma şu şekilde verilebilir:

- İnsandan kaynaklanan hatalar,
- Malzemedan kaynaklanan hatalar,
- Makineden kaynaklanan hatalar,
- Yöntemden kaynaklanan hatalar,
- Ölçme yöntemlerinden kaynaklanan hatalar,
- Yönetimden kaynaklanan hatalar.

Hataların en önemli kaynağı insandır. Birçok neden sonucu insan hatalı davranır. İnsan hatalarının nedenlerinin belirlenmesi makine ve malzemeye göre daha zordur. Bunun nedeni ise insanın psiko-sosyal bir varlık olmasıdır. Psikolojik, fizyolojik ve sosyal

faktörler insanların işleme, muayene ve test etme gibi çeşitli üretim aşamalarında hatalı olmasına neden olacaktır.¹⁰

1.2.4. Tasarım Hataları

Tasarım bir fonksiyonu yerine getirmek için yeni bir fiziksel büyüklüğü, organizasyonu veya formu gösteren fiziksel elemanların türetilme (icat edilme) işlevidir. Tasarım kalitesi, “sözverilmiş kalite” kavramıyla yani müşteriye söz verilen kalitenin gerçekleştirilme derecesiyle ilgilidir. Tasarım kalitesi çoğunlukla, ağırlık, hacim, dayanıklılık gibi fiziksel ölçüler ile tanımlanır. Bunun yanısıra estetik, güzellik gibi subjektif değerler de tasarım kalitesini belirlemede kullanılan özelliklerdir.

Müşterinin gelecekteki beklentilerinin belirlenip bunların eksiksiz ve ekonomik şekilde karşılanması toplam kalite yönetiminin esasını oluşturmaktadır. Bu isteğin gerçekleşmesi için bazı yöntemler geliştirilmiş bulunmaktadır. Bunlardan en bilineni “Pazar Gereksinimleri Doğrultusunda Tasarım-Quality Function Deployment (QFD)”dir. QFD, müşterinin tam olarak memnun edilebilmesi için beklentilerinin ürüne ve üretimin her aşamasında kalite güvencesini sağlayacak şekilde tasarıma aktarılması demektir¹¹. Daha genel olarak QFD, kalite işlevliğini geliştirerek kalite geliştirme şeklinde tanımlanır. QFD sayesinde hata nedenleri önceden belirlenir, böylece hataların tekrarı da önlenmiş olur.

Ürün tasarım amaçlarını, performans isteklerini, müşteri beklentilerini karşılayamadığında veya eksik karşıladığında ortaya çıkan hatalar olarak tanımlanabilir. Örneğin, istenen renk tonunu tutturamayan, elemanları birbiriyle uyum göstermeyen, yine elemanları arasındaki orantısızlığın söz konusu olduğu tasarımlarda ürünler hatalı olarak tanımlanır.

¹⁰ Lewis, “**Introduction to Reliability Engineering**”, John Wiley & Sons New York: 329-336, 1987.

¹¹ Yenginol, F., “**Yeni Ürün Geliştirmede Müşteri İstek ve İhtiyaçlarını Teknik Karakteristiklere Dönüştürmeyi Sağlayan Bir Yöntem: Kalite Fonksiyon Göçerimi**”, Dokuz Eylül Üniversitesi Doktora Tezi, İzmir, 2000.

Tasarım hatası, müşteri isteklerinin tam olarak karşılanamaması durumunun yanısıra, işlemsel zorlanma, öngörülen dayanıklılığı aştığı zaman da gözükür. Bu durumda hatalar, ürün veya sistemlerin nem, sıcaklık gibi çevre koşullarını önceden belirlenen değerleri veya yazılı olarak hazırlanmış kullanım koşulları dışında kullanılmasıyla ortaya çıkar.

1.2.5. Üretim Hataları

Müşteri isteklerine göre tasarım aşamasında öngörülen ürün özelliklerinin, üretim esnasında ürüne yansıtılması gerekir. Ancak tasarımla öngörülen özelliklerin üretim esnasında gerçekleştirilememesi üretim hatasına neden olur. Üretim hatası, üretim sürecinin belirlenen hedeflerini karşılayamaması durumudur. Üretim hataları insan, makine, malzeme ve yöntem gibi üretim faktörlerinin sahip olmaları gereken özelliklerinden sapmaların üretime yansması sonucu ya da ölçme metodu ve ölçüm ekipmanlarındaki sapmalar sonucu ortaya çıkarlar. Hatasız üretim, öngörülen özellikleri gerçekleştirme ve “ilk seferde doğruyu yapma” ile gerçekleşir.

1.2.6. Karar Vermede Hata

Karar verme, elde hazır bulunan tüm seçeneklerden, birini seçme sürecidir. Karar vermede amaç, sistemin en çok arzu edilen bir duruma gelmesini sağlamaktır. Karar verme durumunda olan kişi(ler), yani karar verici(ler) bazı nedenlerden dolayı istenmeyen sonuçlara yol açacak hatalı kararlar verebilir(ler).

Karar verme durumunda hataya yol açan nedenler şunlardır¹² :

- Organizasyon yapısında, karar verme fonksiyonunun yerine getirilmesiyle ilgili olarak bir yapısal tutarlılığın olmaması.
- Karar vericinin doğası nedeniyle hata yapma eğiliminin olması.

¹² Yılmaz, A., “Hata Türü ve Etki Analizi”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,1997.

- Karar vericinin elindeki bilgi yerine, deneyimine güvenerek karar vermesi.
- Karar vericilerin zeka ve mantık yürütme yönünden farklı olmaları.
- Karar vericinin, karar verme fonksiyonunu yerine getirmek için yeterli zeka ve mantıklılığa sahip olmaması.
- Karar vericinin, karar vermede kullanacağı farklı bilgileri hep aynı şekillerde algılaması, bilgiyi alamaması veya bilgilere ulaşamaması.
- Karar vericinin karar vermede kullanacağı bilgileri değiştirmiş, kaybetmiş, yok etmiş olması.
- Karar vericinin, bilgileri değerlendirmede kendi değerleri ve dünya görüşlerini ön plana çıkarması.

Bu nedenler sonucu olarak karar verme hatası, yanlışların, doğru, doğruların, yanlış kabul edilmesi; karar verilmesi gereken yerde verilememesi; hataya yanlış tanı konması şeklinde gözükür.

1.2.7. Örneklem Hataları

Örneklem ile yığın ya da partinin tamamı yerine belirli bir büyüklüğünü incelemek suretiyle yığın gerçek değerleri tahmin edilmeye çalışılır. Ancak bu tahminler bir hata içerir. Buna örneklem hatası denir. Örneklem sonucunda elde edilen sonuçlara göre yığın hakkında belirli bir güvenilirlikle karar verme sürecinde de hata yapma söz konusudur. Yığın hakkında karar verilirken, yığın parametreleri veya dağılım hakkında kesin bir bilgi olmadığında, sıfır ve alternatif varsayımlar olarak tanımlanan istatistiksel varsayımlar ortaya konur. İstatistiksel test yöntemleri ile sıfır varsayımın örnekten gözlenen bulgulara belirli bir güven olasılığı ile uyumlu olup olmadığı belirlenmeye çalışılır. Kabul edilen varsayım, örnek bulgularının uygunluğunu gösterir. Bu istatistiksel karar verme sürecinde ortaya çıkabilecek örneklem hataları iki çeşittir:

- Gerçekte doğru olan bir varsayımı örneklem nedeniyle kabul etmemek (1.tip hata).
- Gerçekte yanlış olan bir varsayımı örneklem nedeniyle reddetmemek (2.tip hata).

Birinci hatanın gerçekleşme olasılığı α ile gösterilir. α , kabul edilebilir partinin reddedilmesi veya kabul edilebilir birimler üreten sürecin durdurulması olasılığını gösterdiğinden “üretici riski” olarak tanımlanır.

İkinci tip hatanın gerçekleşme olasılığı β ile gösterilir. Benzer şekilde β , kabul edilmemesi gereken partinin (veya ikinci kalitede partinin) kabul edilmesi veya reddedilebilir birimler üreten sürecin üretime (veya sürecin ikinci kalitede birimler üretmeye) devam etmesi olasılığını gösterdiğinden “tüketici riski” olarak adlandırılır.

1.2.8. Yazılım Hataları

Yazılım hataları ürün, donanım hatalarından farklı bir yapı göstermektedir. Bilgisayar yazılımlarının kopyaları orijinalleriyle aynı olduğundan bunların arasındaki farklılık söz konusu değildir, dolayısıyla buna bağlı bir hata beklenemez. Yazılım hataları, yazılımın beklenen fonksiyonlarını yerine getirememesi şeklinde tanımlanır.¹³ En önemli nedeni insandır.

Yazılım hataları genellikle oluşturulan akış diyagramlarının, programın, test noktalarının, sınırların yanlış yorumlanması ve yanlış mantık yürütülmesi, yanlış kodlama yapılması, yanlış değerler girilmesi, bazı sembollerin atlanması, sifıra bölme gibi belirsiz ifadelerle yer verilmesi gibi nedenler sonucu oluşur.

1.2.9. Hata Maliyetleri

Hata maliyetleri, üretim sürecinde, ürün veya malzemenin özelliklerinin, belirlenen kalite standartlarından sapması sonucu ortaya çıkan maliyetlerdir. Bu maliyetlere ait örnekler aşağıda yer almaktadır:

- Ürünün ıskarta olması durumunda sözkonusu ıskarta ürüne ait işçilik ve malzeme toplam maliyeti
- Ürünün yeniden işlenmesi gerektiğinde ortaya çıkan işlem ve malzeme maliyeti
- ıskarta ve/veya yeniden işleme sebebi ile imalat programında meydana gelen aksaklık ve değişiklikler sebebiyle ortaya çıkan ilave (mesai v.b.) maliyetler
- Ortaya çıkan hatanın müşteride ve/veya işletmede bir tarama, ayıklama gerektirmesi durumunda bu işlevi yerine getirecek kalite personelinin işçilik maliyeti

- Müşteriye kadar ulaşan hatalarda firmanın müşteri gözündeki imajının olumsuz etkilenmesi sebebiyle oluşan ve daha ileriki dönemlerde firmanın başka işler almasında olumsuz yönde etkili olabilecek, değeri direkt olarak parasal olarak ölçülemeyen önemli kayıplar

2.RİSK KAVRAMI, HATA VE RİSK DEĞERLENDİRME METODOLOJİLERİ

En genel tanımını ile risk, idrak edilmekte olan spesifik bir tehlikenin gerçekleşme olasılığı ve tehlikenin sonuçlarını kapsayan bir kavramdır. Risk değerlendirme ise tehlike potansiyeli bulunan maddelerle ilgili her türlü bilimsel bilginin düzenlenmesi ve analiz edilmesine yönelik sistematik bir yaklaşımdır.¹⁴

Faaliyete geçmiş yada geçmek üzere olan bir süreçte veya işletmede önemli olan sürecin/işletmenin, çalışan işçilerin ve ürünün güvenliğini sağlamaktır. İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi çerçevesinde yapılan risk analizleri sürecin güvenilirliğini böylelikle de ürünün güvenilirliğini sağlar. Ürün güvenilirliği ise firmaya müşteri tatminini ve güvenilirliğini getirir. Bu güvenilirliği sağlamak amacıyla bir işletmedeki tüm süreçlerde ortaya çıkabilecek olan hataların türlerini ve bunların ürün, işçi ya da sürece etkilerini belirleyebilecek bir risk analizinin yapılması gerekmektedir. Bir risk ile karşı karşıya kalındığında ilk önce yapılması gereken şey o riski oluşturacak kaynak olayı ve riskin etkilerini belirlemektir. Böylece riski tanımak daha kolaylaşır ve riske karşı ne gibi önlemler alınacağı daha rahat bir şekilde ortaya konulabilir.

¹⁴ Andaç, Murat, ‘‘Risk Analiz ve Yönetimi’’, İSG, Mayıs-Haziran 2002

Ayrıca, kötü belirlenmiş risklerin daha başka risklerin doğmasına neden olacağını belirtmekte fayda vardır.

Risk değerlendirme aşağıdaki sorulara cevap vermektedir.

1. Tehlikeler nelerdir?
2. Potansiyel etki ve sonuçlar nelerdir ve bunlar kabul edilebilir midir?
3. Bu etki ve sonuçların meydana gelme olasılıkları nedir?
4. Riskin kabul edilebilir durumunun devam ettirilebilmesi için kontrol ve koruma çalışmaları yeterli mi?

Bir fabrika veya tesisin risk değerlendirmesinde iki temel risk analizi yöntemi mevcuttur. Bunlar, kantitatif (quantitative) ve kalitatif (qualitative) yöntemlerdir. Kantitatif risk analizi, riski hesaplarken sayısal yöntemlere başvurur.

Kantitatif risk analizinde tehditin olma ihtimali, tehditin etkisi gibi değerlere sayısal değerler verilir ve bu değerler matematiksel ve mantıksal metotlar ile süreç edilip risk değeri bulunur.

Risk = Tehditin Olma İhtimali (likelihood) * Tehditin Etkisi (impact) formülü
kantitatif risk analizinin temel formülüdür.

Diğer temel risk analizi yöntemi ise kalitatif risk analizidir. Kalitatif risk analizi riski hesaplar ve ifade ederken numerik değerler yerine yüksek, çok yüksek gibi tanımlayıcı değerler kullanır.

Risk analizi metodolojileri, risk analizi sürecinin matematiksel işlemler ve yorumlarının

yapıldığı çekirdek kısımdır. Belli başlı risk metodolojileri aşağıdaki gibidir:¹⁵

- Risk Haritası
- Başlangıç Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis – PHA)
- İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis - JSA)
- Olursa Ne Olur? - What if..?
- Çeklist Kullanılarak Birincil Risk Analizi (Preliminary Risk Analysis (PRA) Using Checklists)
- Birincil Risk Analizi (Preliminary Risk Analysis - PRA)
- Risk Değerlendirme Karar Matris Metodolojisi(Risk Assessment Decision Matrix)
L Tipi Matris
Çok Değişkenli X Tipi Matris Diyagramı
- Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi (Hazard and Operability Studies- HAZOP) :
- Tehlike Derecelendirme İndeksi (DOW index, MOND index, NFPA index)
- Hızlı Derecelendirme Metodu (Rapid Ranking, Material Factor)
- Hata Ağacı Analizi Metodolojisi (Fault Tree Analysis-FTA)
- Olası Hata Türleri ve Etki Analizi Metodolojisi – HTEA/OHTEA (Failure Mode and Effects Analysis- Failure Mode and Critically Effects Analysis- FMEA/FMECA)
- Güvenlik Denetimi (Safety Audit)
- Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis - ETA)
- Neden – Sonuç Analizi (Cause-Consequence Analysis)

¹⁵ Ergör, Dr. Alp, “Çevresel Ve Mesleksel Risk Değerlendirme” , DEÜTF Halk Sağlığı AD Ulusal Toksikoloji ve Klinik Toksikoloji Sempozyumu, Mayıs 2003 – İzmir

Bu metodları birbirinden ayıran en önemli farklar, risk değerini bulmak için kullandıkları kendilerine has metodlardır. Risk değerlendirme formlarında yer alması gerekli ortak bilgiler aşağıdadır;

- 1) Süreç/Sistem Adı :** Analizi yapılacak olan süreç/sistemin referans numarası varsa yazılır, yoksa kısa bir tanımı yapılır. (Örneğin; kaynakhane, galvanizhane, montaj bölümü, boyahane vb.)
- 2) Alt Sistem :** Eğer süreç veya sistemin bir alt sistemi için analiz yapılıyor ise bu alt sistemin kısa bir tanımı yapılır. (Örneğin; havalandırma tesisatı, fırın, kazan dairesi vb.)
- 3) Takım Üyeleri :** Takımı oluşturan bütün kişilerin isimleri ve bölümleri
- 4) Takım Lideri :** Sorumlu olan İş Güvenliği Uzmanının adı
- 5) Tarih :** Risk Değerlendirmesi'nin yapıldığı tarih
- 6) Revizyon Tarihi :** Risk Değerlendirmesi'nin son revizyon tarihi
- 7) Risk Değerlendirmesi Numarası :** Takip etmek amacıyla kullanılacak bir Risk Değerlendirmesi numarası

Bir işletmede risk değerlendirme yöntemlerinin seçim aşaması en önemli aşamadır, bu seçimin yanlış yapılması işletmede maddi ve manevi kayıplara neden olacaktır. Risk haritasının oluşturulması ve başlangıç tehlike analizi yapılırken hangi kalitatif ve kantitatif yöntemlerin seçileceğine, işletmenin kendi ihtiyaçlarına, yapısına, tehlikelerinin büyüklüğüne göre bu konuda uzman kişi tarafından karar verilmelidir. Tehlikeleri çok küçük olan küçük kuruluşları karmaşık ve zor tehlike tanımlaması, risk değerlendirmesi ve risk kontrol uygulamalarına zorlamak başarı oranını düşürecektir.

2.1. Risk Haritası

İşletmedeki her bölgenin operasyon bazında risklerinin belirlendiği bir methoddur. Risk haritalarının hazırlanması aşamasında öncelikle makro ve mikro ayrıştırma algoritması uygulanmalıdır, çünkü işletmelerin her yeri aynı oranda tehlike taşımamaktadır.

2.2. Başlangıç (Ön) Tehlike Analizi – (Preliminary Hazard Analysis - PHA)

Ön tehlike analizi, tesisin son tasarım aşamasında yada daha detaylı çalışmalara model olarak kullanılabilir olan hızla hazırlanabilen kalitatif bir risk değerlendirme metodolojisidir. Bu methodda olası sakıncalı olaylar önce tanımlanır daha sonra ayrı ayrı olarak çözümlenir. Herbir sakıncalı olay veya tehlike, mümkün olan düzelmeler ve önleyici ölçümler formüle edilir. Bu metodolojiden çıkan sonuç, hangi tür tehlikelerin sıklıkla ortaya çıktığını ve hangi analiz metodlarının uygulanmasının gerektiğini belirler. Tanımlanan tehlikeler, sıklık/sonuç diyagramının yardımı ile sıraya konur ve önlemler öncelik sırasına göre alınır. Ön tehlike analizi analistler tarafından erken tasarım aşamasında uygulanır, ancak tek başına yeterli bir analiz metodu değildir, diğer metodolojilere başlangıç verisi olması aşamasında yararlıdır.

2.3. İş Güvenlik Analizi – JSA (Job Safety Analysis)

Bu method, İş Güvenlik Analizi (JSA), kişi veya gruplar tarafından gerçekleştirilen iş görevleri üzerinde yoğunlaşır. Bir işletme veya fabrikada işler ve görevler iyi tanımlanmışsa bu metodoloji uygundur. Analiz, bir iş görevinden kaynaklanan tehlikelerin doğasını direkt olarak irdeler.

2.4. Olursa Ne Olur? (What If..?)

Bu metod, fabrika ziyaretleri ve prosedürlerin gözden geçirmesi esnasında yararlıdır, hali hazırda var olan kaçınılmaz potansiyel tehlikelerin tespit edilme oranını yükseltir. Bu metod işlemlerin herhangi bir aşamasında uygulanabilir ve daha az tecrübeli risk analistleri tarafından yürütülebilir. Genel soru olan “Olursa Ne Olur?” ile başlar ve sorulara verilen cevaplara dayanır. Aksaklıkların muhtemel sonuçları belirlenir ve sorumlu kişiler tarafından herbir durum için tavsiyeler tanımlanır.

2.5. Çeklist Kullanılarak Birincil Risk Analizi -(Preliminary Risk Analysis (PRA) Using Checklists):

Bu analizin amacı, sistemin veya sürecin potansiyel tehlikeli parçalarını tespit ederek değer biçmek ve tespit edilen herbir potansiyel tehlike için az yada çok kaza ihtimallerini belirlemektir. PRA yapan bir analist, tehlikeli parçaları ve durumları gösteren kontrol listelerine güvenerek bu analizi yapar. Bu listeler kullanılan teknolojiye ve ihtiyaca göre düzenlenir. Bu listelerde belirlenen tehlikeler daha sonra risk değerlendirme formunda değerlendirilir.

2.6. Birincil Risk Analizi -(Preliminary Risk Analysis (PRA)):

Birincil Risk Analizi, bir faaliyeti yerine getirirken gerçekleşebilecek kazaları analiz edebilmek için kullanılan sistematik bir yöntemdir. Herbir kaza için analiz; kazaları önlemek veya kaza nedenlerini önlemek için çok belirgin korunma yolları tanımlar. Analiz, riski indirmek için tavsiyelerde bulunduğu gibi kazalar ile ilgili riski aynı zamanda tanımlar. Analiz kaza ile ilgili riski, tehlikeyi azaltıcı tavsiyelerde bulunarak tanımlar. Kazanın teşhis edilebilmesi için şu sorunun cevabı aranır? “ Bu aktiviteyi yerine getirirken ne gibi potansiyel kazalar meydana gelebilir? Birincil risk analizi, bu etkinliği yapan ekibe analizden düşük risk içeren kazaların elenmesini sağlayarak analizin düzene koyulmasını sağlar.

2.7. Risk Değerlendirme Karar Matrisi (Risk Assessment Decision Matrix):

En sık kullanılan yaklaşımlardan biri olan risk değerlendirme matrisi ABD. Askeri standardı MIL_STD_882-D olarak da bilinen sistem güvenlik program gereksimini karşılamak maksadıyla geliştirilmiştir. Matris diyagramları iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmekte kullanılan bir değerlendirme aracıdır.

2.8. Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi (Hazard and Operability Studies- HAZOP) :

Kimya endüstrisi tarafından, bu sanayinin özel tehlike potansiyelleri dikkate alınarak geliştirilmiştir. Konusunda iyi bir takım tarafından, kaza odaklarının saptanması, analizleri ve ortadan kaldırılmaları için uygulanır. Belirli anahtar ve kılavuz kelimeler kullanarak yapılan sistemli bir beyin fırtınası çalışmasıdır. Çalışmaya katılanlara, belli bir yapıda sorular sorulup, bu olayların olması veya olmaması halinde ne gibi sonuçların ortaya çıkacağı sorulur.

2.9. Hata Ağacı Analizi Metodolojisi (Fault Tree Analysis-FTA) :

Hata ağacı analizi kavramı (FTA), 1962 yılında Bell Telefon Laboratuvarlarında, Minutemen kıtalararası balistik füze hedefleme kontrol sisteminin güvenlik değerlendirmesini gerçekleştirmek maksadıyla dizayn edilmiştir. Hata ağacı metodolojisi, sistem hatalarını ve sistem ve sistem bileşenlerinin hatalarındaki özgül sakıncalı olaylar arasındaki bağlantıyı gösteren mantıksal diyagramlardır. Bu metod, tündengelimli mantığa dayanan bir tekniktir. Sakıncalı olay, daha önceden tanımlanmış olay ile hataların

nedensel ilişkileridir. FTA bir işletmede yapılan işler ile ilgili kritik hataların veya ana (majör) hataların, sebeplerinin ve potansiyel karşıt önlemlerinin şematik gösterimidir.

Ayrıca düzenleyici hareketleri veya problem azaltıcı hareketleri tanımlar. FTA'nın amacı hataların gidiş yollarını, fiziksel ve insan kaynaklı hata olaylarını sebep olacak yolları tanımlamaktır. FTA belirli bir hata olayı üzerine odaklanan analizci bir tekniktir. Daha sonra muhtemel alt olayları mantıksal bir diyagramla şematize eder. Grafik olarak insan yada malzeme kaynaklı hasarların muhtemel kombinasyonlarını oluşturur. İhtimallerini ortaya çıkarabileceği önceden tahmin edilebilen istenmeyen hata olayını (en üst olay) grafik olarak gösterir. FTA çok geniş kapsamlı olarak güvenlik ve risk analizinde kullanılır. FTA kalitatif bir teknik olarak bir hatayı alt bileşenlerine ayırarak onu irdelediği için kullanışlıdır. Bu şekilde sistemi oluşturan her bir parçanın modifiye edilmesi, çıkarılması yada elde edilmesine olanak sağlar. FTA tanımlamada, tasarımda, modifikasyonda, operasyonda, destekli kullanımda yada bir boşaltım sisteminde kullanılabilir.

Özellikle hiçbir işletim geçmişi olmayan yeni teknik süreçlerin kullanımında çok yararlı olur. FTA'dan elde edilen değerler bir dizi mantık diyagramları olarak bazı kombinasyonların muhtemel hatalara nasıl yol açabileceğini gösterir. Elde edilen değerler kantitatifdir. Elde edilen hasar verileri oranlanabilirse ya da tahminler hasar olayları için mevcutsa sonuçlar kalitatif hale getirilebilir. Bir hata ağacı bütün muhtemel bileşikleri, hasar türlerini ya da hata olaylarını içeremez. Genellikle en üst olaya göre düzenlenir ve zamanla kısıtlanır.

Hata Ağacı Analizi, sistemde tehlike olarak kendini gösteren olası tüm problem veya hataların tanımlanmasında ve analizinde kullanılan sistematik bir yolu temsil eder.

FTA her düzeyde tehlike oluşturan hataların analizini yapar ve bir mantık diyagramı aracılığı ile en büyük olayı (kayıbı) yaratan hataların ve problemlerin olası tüm kombinasyonlarını gösterir. Ayrıca hatanın belirlenmesinde söz konusu aşamalara yol göstererek karmaşık ve karşılıklı ilişkiler sonucu ortaya çıkan olumsuzluğun belirlenmesini ve bu olumsuzluğun oluşma olasılığını değerlendirmeyi amaçlar. Bu yönüyle FTA, FMEA tekniği ve diğer risk değerlendirme metodları ile amaç birliği içinde uygulanabilir. FTA'da oluşması istenmeyen olayın kökündeki sebebe kadar inilerek istenmeyen diğer olası hatalar ve onların sebepleri ortaya çıkarılır. Tüm bu hataları ve sebeplerini görüntülemeye tekniğin kendine özel mantık sembollerinden yararlanılarak hatanın soy ağacı çıkarılır.

FTA da FMEA gibi sistem analizine gerek duyar. Sistem analizi olgusunun içerdiği ön koşullar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Sistem ilişkisi çerçevesinde düşünülmesi,
- Kritik sistem elemanlarının seçilmesi,
- Kritik işletme koşullarının belirlenmesi.

Ağaçlar hiyerarşik modellerdir ve bu modeller güvenlik dayanabilirlik ve risk değerleri açısından performans değerlendirmede önemli rol oynar.

Hata Ağacı Analizinin ana hedefleri şunlardır:

- Herhangi bir sistemin güvenilirliğinin tanımlanması
- Herhangi bir probleme etki eden karmaşık ve birbirleri ile karşılıklı ilişki içinde bulunan olumsuzlukların belirlenmesi ve bu olumsuzlukların oluşma olasılıklarının değerlendirilmesi.

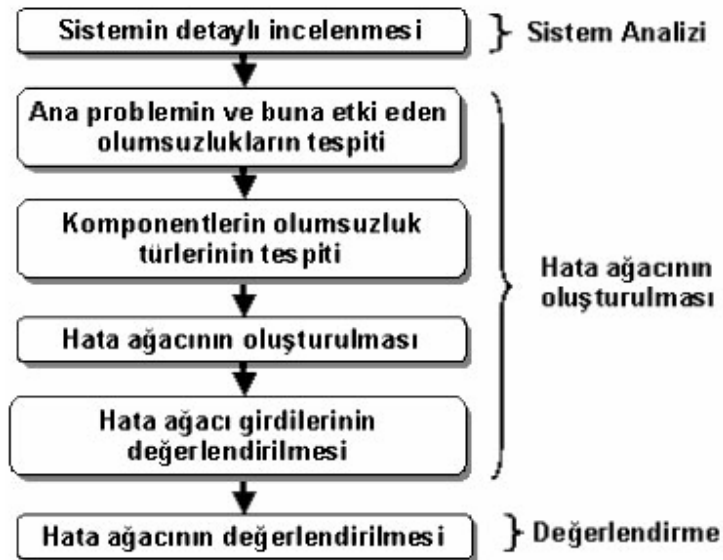
Herhangi bir sistemde kendini tehlike olarak hissettiren tüm problem veya olumsuzlukların sistematik olarak ortaya konulması .

FTA aşamaları;

Hata ağacı analizi 3 temel adımda uygulanır:

- Sistem analizi
- Hata ağacının oluşturulması
- Hata ağacının değerlendirilmesi

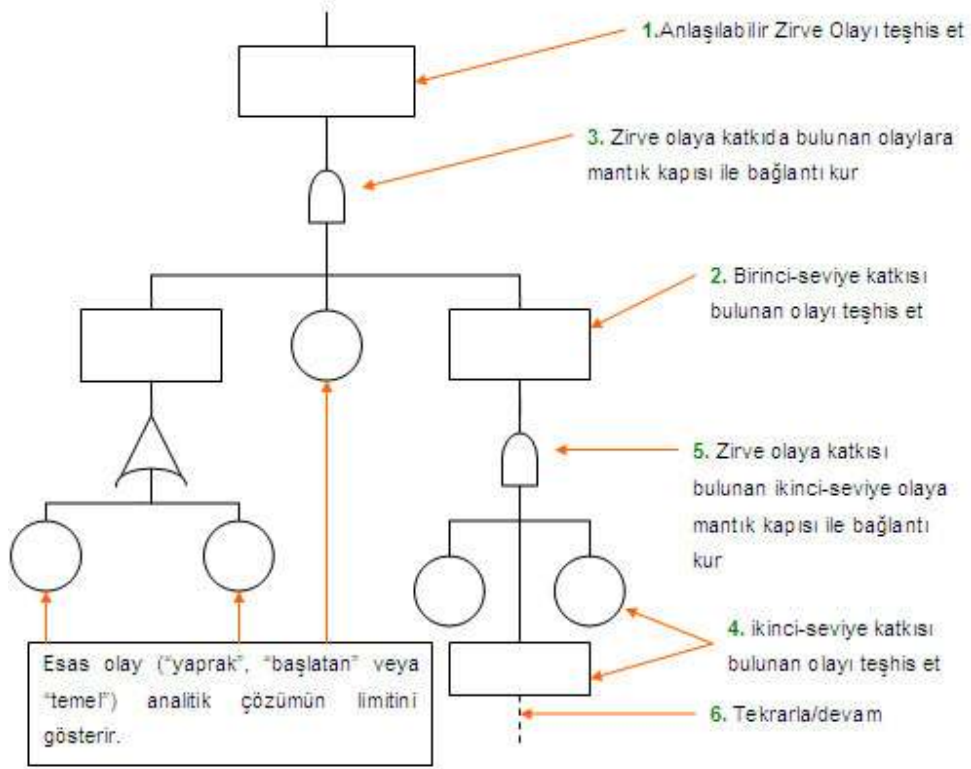
Hata Ağacı'nın analizinde uygulanan yöntemle ait şema şekil 2.1'de belirtilmiştir:



Şekil-2.1. Hata Ağacı Analiz Şeması

MMO Yayınları: 239, ‘İş Sağlığı ve Güvenliği Konferans Bildiriler Kitabı’ , 27-28
Kasım 1999

1. Analiz için bir süreç veya bölüm seçilir, diyagram üstüne bir kutu çizilir ve bileşenler içine listelenir.
2. Süreç ve bölüm ile ilgili kritik arızalar ve tehlikeler tanımlanır.
3. Riskin sebebi tanımlanır ve riskin altına muhtemel bütün sebepleri listelenir ve oval daireler içinde riske bağlanır.
4. Bir kök sebebe doğru ilerlenir. Her risk için sebeplere ulaşana kadar tanımlanır.
5. Her kök sebep için karşıt ölçümler tanımlanır. Beyin fırtınası veya kuvvet alan analizinin gelişmiş versiyonuyla her kritik riskin kökü belirlenir. Her karşıt ölçüt için bir kutu oluşur ve ilgili kök sebebin altına kutular için sebebi ve karşıt ölçütleri birbirine bağlanır. Tüm bu amaçlara yönelik olarak FTA diğer metodolojilerde olduğu gibi amaçların belirli olduğu sistematik bir yol izlemek durumundadır. Bu yol genel olarak tanımlama, planlama, değerlendirme ve sonuçların analizi ve önerilerin belirlendiği (şekil 2.2.’de belirtilen) adımlardan ibarettir.



Şekil – 2.2. Hata Ağacı Oluşturma Aşamaları

Özkılıç,Ö., ‘İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk değerlendirme Metodolojileri’, İstanbul, 2005.

FTA oluşturulmasında bilgisayar programcılarının da sıkça başvurdukları Bool Elektronik Devre Sembolleri kullanılır. Böylelikle probleme etki eden tüm olumsuzlukların analitik olarak gün ışığına çıkarılması sağlanır.

2.10. Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi Metodolojisi - (Failure Mode and Effects Analysis- FMEA):

Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) disiplini, ABD ordusunda geliştirilmiştir. Hata Türü, Etkileri ve Riskinin Analizi Üzerine Prosedürler olarak adlandırılan Askeri Prosedür MIL-P-1629, 9 Kasım 1949 tarihinde başlatılmıştır. Sistem ve donatım hatalarının etkilerinin belirlenmesi için güvenilir bir değerlendirme tekniği olarak kullanılmıştır.

Bu metodoloji bütün teknoloji ağırlıklı sektörler ile uzay sektörü, kimya endüstrisi ve otomobil sanayinde çok popülerdir. Bu metodun popüler olmasındaki başlıca sebep kullanımının kolay olması ve geniş teorik bilgi gerektirmemesidir. Orta düzeyde deneyimi olan bir risk değerlendirme timi tarafından rahatlıkla uygulanabilir. FMEA metodu genellikle parçaların ve ekipmanların analizine odaklanır. Bu metod, başarısızlığın olabildiği yer ve alanların herbirini çözümler ve kişisel fikirleri de dikkate alarak değer biçer ve sistemin parçalarının herbirine uygulanabilir¹⁶.

Hata Türü ve Etkileri Analizi uygulaması;

- Her hatanın nedenlerini ve etkenlerini belirler.
- Potansiyel hataları tanımlar.
- Olasılık, şiddet ve saptanabilirliğe bağlı olarak hataların önceliğini ortaya çıkarır.
- Sorunların izlenmesini ve düzeltici faaliyetlerin yapılmasını sağlar.

Hata Türü ve Etkileri Analizi, ürünlerin ve süreçlerin geliştirilmesinde öncelikli olarak hata riskinin ortadan kaldırılmasına odaklanan ve bu amaçla yapılan faaliyetleri belgelendiren bir tekniktir. Bu analiz önleyici faaliyetlerle ilgilenmektedir.

¹⁶ Mohr, R.R., "Failure Modes and Effects Analysis", JE Jacobs Sverdrup, 8th Edition, February 2002

2.11. Güvenlik Denetimi (Safety Audit)

Sistem güvenlik analizi iki metodun kombinasyonudur: Fabrika ziyaretleri yapılması ve çeklist uygulanmasıdır. Fabrika ziyaretleri ve gelişmiş kontrol listeleri ile deneyimi fazla olmayan analistler tarafından uygulanabilen ve herbir süreçte uygulanabilen resmi bir yaklaşımdır. Tipik bir çeklist, spesifik alanlara dayanan tanımlamalar ile tehlike belirler. Güvenlik Denetiminin PRA'dan farkı tehlikeli alanların sınıflandırılmasının ve bu alanlardaki tehlikelerin tanımlanmış olmasıdır. Güvenlik denetiminin yapılabilmesi için mutlaka risk haritalarının çıkarılmış olması ve sınıflandırmaların yapılmış olması gereklidir. Çeklistler PRA'da olduğu gibi tecrübeli uzman kişiler tarafından hazırlanması durumunda etkili olacaktır. Ancak güvenlik denetimini yapmak PRA yapmaktan daha kolaydır, çünkü tehlikeli alanlar belirlenmiş ve sınıflandırılmıştır ve o bölgeye özel çeklistler hazırlanmış, güvenlik uzmanının analiz yapması kolaylaştırılmıştır.

2.12. Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis-ETA)

Olay ağacı analizi başlangıçta nükleer endüstride daha çok uygulama görmüş ve nükleer enerji santrallerinde işletilebilme analizi olarak kullanılmıştır, daha sonra diğer sektörlerde de sıklıkla uygulanmaya başlanmıştır. Olay Ağacı analizi, başlangıçta seçilmiş olan olayın meydana gelmesinden sonra ortaya çıkabilecek sonuçların akışını diyagram ile gösteren bir yöntemdir. Hata ağacı analizinden farklı olarak bu metodoloji tümevarımlı mantığı kullanır.

Kaza öncesi ve kaza sonrası durumları gösterdiğinden sonuç analizinde kullanılan başlıca tekniktir ¹⁷ . Diyagramın sol tarafı başlangıç olay ile bağlanır, sağ taraf fabrikadaki/işletmedeki hasar durumu ile bağlanır en üst ise sistemi tanımlar. Eğer sistem

¹⁷ Risk Management Processes, Süreç Hazard Analizi, "Safety Management Services", 2002

başarılı ise yol yukarı, başarısız ise aşağı doğru gider. Olay ağacı analizinde kullanılan mantık, hata ağacı analizinde kullanılan mantığın tersinedir.

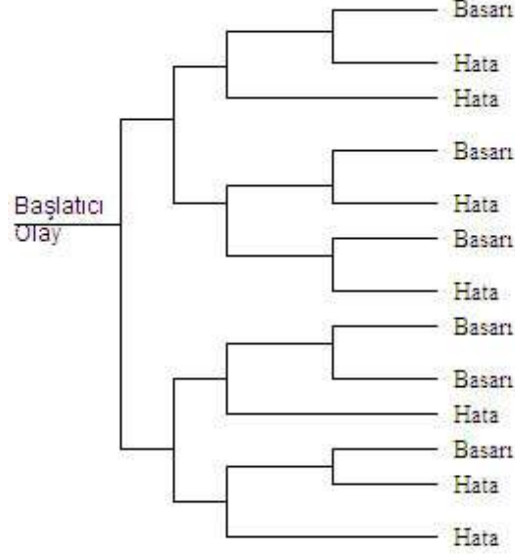
Bu metod; sürekli çalışan sistemlerde veya “standby” modunda olan sistemlerde kullanılabilir. Sisteme meydan okumaya karşı sistemin cevabının keşfi ve sistemin başarı/hata olasılık değerlendirmesinin yapılmasıdır.

Örnek “Meydan Okuma”;

- Tankın boru hattında patlama
- Depolanmış yanıcı malzemenin tutuşması
- Sistem hatası
- Teknoloji ihtiyacı
- Normal sistem işletme komutları
- Yükseltilmiş ticari rekabet
- İstenmeyen zincirleme olayların meydana gelmesi

Olay Ağacı Analizi

Sistem içindeki tüm güvenilir operasyonel değişimler tanımlanır. Her bir yol takip edildiğinde nihai başarı veya hataya götürür.

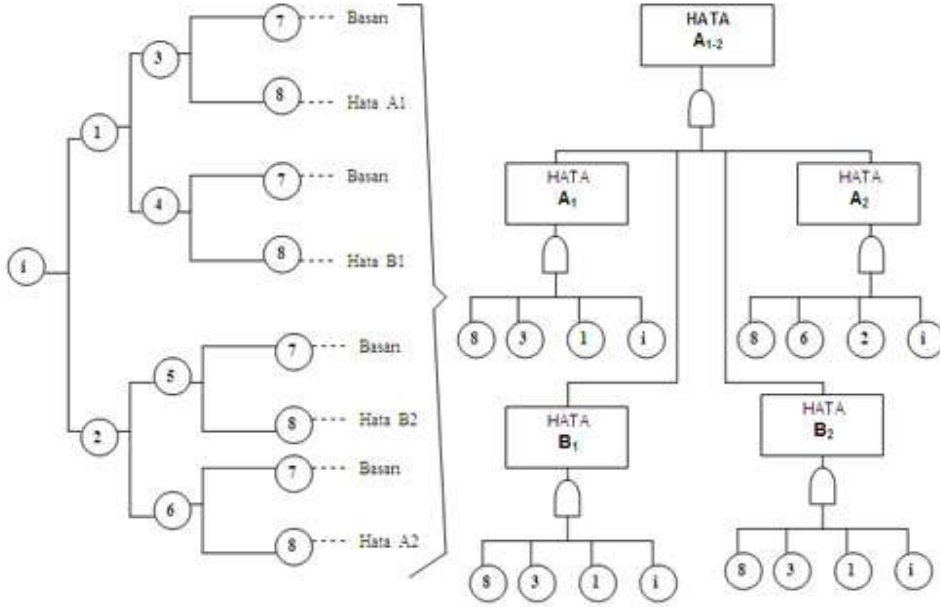


Şekil – 2.4. Bernoulli Modeli

Özkılıç,Ö., “İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk değerlendirme Metodolojileri”, İstanbul, 2005.

Olay Ağacından Hata Ağacına Dönüşüm

Sisteme meydan okuyan bir olaya karşı sistemin cevabının ve başarı/hata değerlendirmesinin yapıldığı Olay Ağacı diyagramından hata ağacı diyagramına kolaylıkla dönüşüm yapılabilir. Böylelikle final çıktılarından elde edilmiş olan geri dönülemez hataların esas olaylarının değerlendirmesi ve eşit hata ağacının belirlenmesi sağlanır.







Şekil – 2.5. Olay Ağacından Hata Ağacına Dönüşüm

Özkılıç,Ö., “İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk değerlendirme Metodolojileri”, İstanbul, 2005.

2.13. Neden - Sonuç Analizi (Cause – Consequence Analysis)

Bu teknik nükleer enerji santrallerinin risk analizinde kullanılmak üzere Danimarka RISO laboratuvarlarında yaratılmıştır, diğer endüstrilerin sistemlerinin güvenlik düzeyinin belirlenmesi için de adapte edilmiştir. Neden - Sonuç analizi, Hata Ağacı Analizi ile Olay Ağacı Analizinin bir harmanıdır. Bu metodoloji, neden analizi ile sonuç analizini birleştirir ve bu nedenle de hem tümdengelimli hemde tümevarımlı bir analiz yöntemini kullanır. Neden - Sonuç analizinin amacı, olaylar arasındaki zinciri tanımlarken istenilmeyen sonuçların nelerden meydana geldiğini belirlemektir. Neden - Sonuç diyagramındaki çeşitli olayların olasılığı ile, çeşitli sonuçların olasılıkları hesaplanabilir. Böylece sistemin risk

düzeyi belirlenmiş olur. Tipik bir Neden - Sonuç analizi diyagramı şekil-2.6'da gösterilmiştir.

OLAYLAR	ANLAMI				
 DAİRE	Esas olay (Yaprak, başlatan olay). Bu sembol birncil durumdaki problem için kullanılır. Daha ileri bir gelişimi gerektirmeyen, işleme gerek duyulmayan temel bir olaydır.				
 VE KAPISI	Sadece sembol altındaki tüm girdi olayların gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın ortaya çıkması gerçekleşir.				
 VEYA KAPISI	Sembol altındaki bir veya birden fazla girdi olaydan en az herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın ortaya çıkması gerçekleşir.				
 SONUÇ TANIMLAYICI	Hata seviyesini belirten son olay veya koşul				
<table border="1" data-bbox="295 1467 470 1556"> <tr> <td>H</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td colspan="2">OLAY</td> </tr> </table> DALLANDIRMA OPERATÖRÜ	H	E	OLAY		<p>Eğer koşullar uygusa çıktı "EVET" 'dir, eğer koşullar uygun değilse çıktı "HAYIR" 'dir. Dallandırma operatörüne kusur ve başarı ifadelerinden her ikisi de yazılabilir.</p> $P_Y + P_N = 1$
H	E				
OLAY					

Şekil – 2.6. Neden - Sonuç Analizi Diyagramı

Özkılıç,Ö., ‘İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk değerlendirme Metodolojileri’, İstanbul, 2005.

2.14. Risk Değerlendirme Metodolojilerinin Karşılaştırılması

Tablo – 2.1. Risk Değerlendirme Metodolojileri Karşılaştırma Tablosu-1

Özkılıç,Ö., ‘İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk değerlendirme Metodolojileri’, İstanbul, 2005.

Kriterler	What if...?	PHA	JSA	Check List	HAZOP	FMEA/ FMECA
Gerekli Döküman İhtiyacı	Çok Az	Orta	Çok fazla	Orta	Çok fazla	Çok fazla
Tim Çalışması	Bir Analist ile Yapılabilir	Bir Analist ile Yapılabilir	Tim çalışması	Tim çalışması	Tim çalışması	Tim çalışması
Tim Liderinin Tecrübesi	Orta düzey deneyim	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Orta Düzey Deneyim	Çok fazla deneyim	Çok fazla deneyim
Kalitatif/Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif
Özel Bir Branşa Yönelik	Basit prosedürlü işler	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Kimya endüstrisi	Elektrik/ Makina Hizmet
Uygulama Başarı Oranı	Risklerin belirlenmesi aşamasında tek başına yeterli değildir. Tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir.	Birincil risk değerlendirme yöntemidir. Risklerin belirlenmesi aşamasında tek başına yeterli değildir. Tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir.	Özellikle kişilerin görev tanımları iyi yapılmışsa başarı sağlanabilir.	Çeklistlerin uzman kişilere hazırlanması halinde başarı oranı değişir.	Oldukça zor bir yöntemdir, yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir.	Analiz öncesinde, FTA yapılması başarı oranını artırır.

Tablo– 2.2. Risk Değerlendirme Metodolojileri Karşılaştırma Tablosu-2

Özkılıç,Ö., “İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk değerlendirme Metodolojileri”, İstanbul, 2005.

Kriterler	Güvenlik Denetimi	FTA	ETA	L Matris	Tipi X Matris	Tipi Neden Sonuç Analizi
Gerekli Döküman İhtiyacı	Çok Az	Çok fazla	Çok fazla	Çok Az	Çok fazla	Çok fazla
Tim Çalışması	Bir Analist ile Yapılabilir	Tim çalışması	Tim çalışması	Bir Analist ile Yapılabilir	Tim çalışması	Tim çalışması
Tim Liderinin Tecrübesi	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Çok fazla deneyim	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Çok fazla deneyim
Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif/ Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif/ Kantitatif
Özel Bir Branşa Yönelik	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Basit prosedürlü işler	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar, ancak özellikle kimya sektöründe kullanılır
Uygulama Başarı Oranı	Risklerin belirlenmesi aşamasında tek başına yeterli değildir. Tüm sektörlerde rahatlıkla uygulanır, tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir.	Yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir. Risklerin belirlenmesinde çok etkili bir yöntemdir.	Yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir. Risklerin belirlenmesinde çok etkili bir yöntemdir.	Basit prosedürlü işlerde uygulanabilir, tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir	Tüm sektörlerde rahatlıkla uygulanır, tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir.	Yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir. Risklerin belirlenmesinde çok etkili bir yöntemdir.

Bu metodları birbirinden ayıran en önemli farklar, risk değerini bulmak için kullandıkları kendilerine has metodlardır. Metodolojilerin karşılaştırılması Tablo-1 ve 2'de verilmiştir. Tablo içerisinde kalitatif ve kantitatif yöntemlerinin farkları ve uygulanabilecekleri sektörler ve uygulayacak analistlerin tecrübe gereksinimleri belirtilmiştir.

Diğer metodlar ile karşılaştırıldığında, gerek uygulanabilirliği, gerek uygulamanın etkinliği, gerekse firmada yaşanabilecek maddi, manevi kayıpların önüne çok önceden

geçilebilmesinde sağladığı avantajlardan dolayı FMEA zamanında uygulandığında tercih edilebilecek en iyi metoddur. Çünkü FMEA, risk analiz metodları ile hata önleme metodlarının bir birleşimidir.

3. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

3.1. FMEA'nın Tarihsel Gelişimi

FMEA, ilk olarak NASA tarafından, uzay uygulaması için inşa edilen aracın, istenilen güvenilirlik karakteristiklerine sahip olmasını sağlayacak yöntem olarak geliştirilmiştir.¹⁸

1965-1970 yılları arasında, A.B.D. Silahlı Kuvvetlerinde MIL-STD (Askeri Standart) olarak, problemleri toplama ve analiz etme yolu olarak kullanılmış, 1970 yılında çok gizli olma özelliği kaldırılmıştır.¹⁹ 1970-1975 yılları arasında A.B.D. uçak sanayinde kullanılan FMEA'nın ilk endüstriyel uygulamasının, 1975 yılında Japon NEC firması başlatmış ve daha sonra bu uygulama bütün dünyada yaygınlaşmıştır.

FMEA, 1980 yılında Ford tarafından otomotiv sanayinde uygulanmaya başlanmış, sistemde değişiklik yapılarak çok karmaşık olan askeri uygulama basitleştirilmiştir. Bu yöntem, Fransız Renault ve Citroen otomotiv şirketlerince AMDEC olarak isimlendirilmiştir.

FMEA, 1985 yılında geçerli olarak, Ford uygulamasından farklı olmayan bir şekilde, İtalyan FIAT şirketinde uygulanmaya başlanmıştır.

3.2. FMEA Hata Türü ve Etkileri Analizinin Önemi

Çok hızlı değişen müşteri beklentileri, yasal gereksinimler ve yasal yaptırımlar, potansiyel hataların belirlenmesi ve giderilmesi tekniğini çok önemli hale getirmiştir. FMEA'nın gerekliliği, en çok can güvenliği ve çevre sağlığı gibi konularda önem

¹⁸ FIAT- 00270, "Process FMEA Failure Mode And Effects Analysis", s.16, 1988.

¹⁹ Çiğdem, S., "Hata Türü ve Etkileri Analizi", 2.b., Çayırova:Koç Holding Yayını, s.8, 1995.

kazanmaktadır. FMEA dinamik bir belgedir. Daima en son süreç ve konstrüksiyon gelişmelerini göz önüne almalıdır.

FMEA, ürünlerin müşterinin gereksinme ve beklentilerini cevap verecek düzeyde olmasını sağlamak için planlanır, imalat veya montaj sürecine ait tüm özelliklerini analiz eder, olası hata nedenleri belirlendiğinde bunların önlenmesi veya ortaya çıkma frekansını azaltılması yönünde tedbirler alınmasını sağlar. FMEA, aynı zamanda, yeni geliştirilen üretim veya montaj süreçlerinin rasyonelliğini belgeler.

Müşteri beklentilerinin, zaman içinde hızla değişmesi nedeniyle, endüstrilerin olası problemleri belirlemeye ve önlemeye yönelik bir tekniği, sistemli bir şekilde kullanma gereksinmesi eskiye göre daha çok önemlidir. Dolayısıyla Süreç FMEA üretim ve montaj aşamalarındaki problemlere sistematik bir yaklaşım sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Geniş anlamda bir FMEA, yeni bir sürecin geliştirilmesinde bütün mühendislik deneyimlerini bünyesinde toplar. Kısaca, FMEA yapılması aşağıdaki konu başlıklarını amaçlar:

- Yasalara uygunluğu veya emniyeti ters yönde etkileyebilecek olası hata nedenlerini belirlemek,
- Ürünün seri üretimi başlamadan önce olası tasarım yetersizliklerini belirlemek,
- Üretime başlamadan önce olası süreç yetersizliklerini belirlemek,
- Kritik özellikleri ve önemli özellikleri belirlemek.²⁰

FMEA için gerekli sistemli bir analiz aşağıdaki gibi yapılır:

- Bütün ürün ayrıntıları (Tasarım FMEA) veya süreç çalışmaları (Süreç FMEA) hesaba katılır.
- Bütün hata/arıza türleri, her bir parça veya çalışmada aranır.
- Analiz uygun formlar üzerine adım adım kaydedilir.²¹

²⁰ Çiğdem, S., “Hata Türü ve Etkileri Analizi”, 2.b.Çayırova:Koç Holding Yayını, s.4, 1994.

²¹ OYAK-RENAULT, “Hata Türü ve Etkileri Analizi”, s.3, 1990.

FMEA, amaçlanan yerlerde hataların önlenmesi yanında ekonomik yararlar da sağlar. FMEA'nın mantıksal ve sistematik kullanımı zaman alıcı ve pahalı değil, metodun sözleşme amaçlı kullanımı zaman alıcı ve masraflıdır. Bu özellikte FMEA'ya bir zorunluluk olarak bakıldığında, düşük maliyetli hatasız ürünlerin yapımı için gerekli, bir alet olarak düşünülebilir.

3.3. FMEA Yapılması için Gerekli Koşullar

Etkili bir kullanım, doğru kullanım koşulları ve kullanıcının bilgi birikimine ve yeteneğine bağlıdır. FMEA'dan istenen bilgileri sağlamak için aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekir.

- İşletme yönetimi FMEA'nın yapılmasının isteğini kesinlikle belirtmelidir.
- Her katılımcı FMEA'nın kurulmasına ilişkin yeterli bilgiye sahip olmalıdır.
- Her katılımcı, metodu kullanma stratejisine sahip olmalıdır.
- Yapılış prosedürü önceden tartışılmalı ve bütün kullanıcılar tarafından anlaşılmalıdır.
- İşletme bir bölüm, metodun uygulanmasını koordine etmelidir.
- Metodik problemlerin açıklanması ve kullanıcılara yardımcı olmak amacıyla bir başlangıç noktası tespit edilmelidir.²²

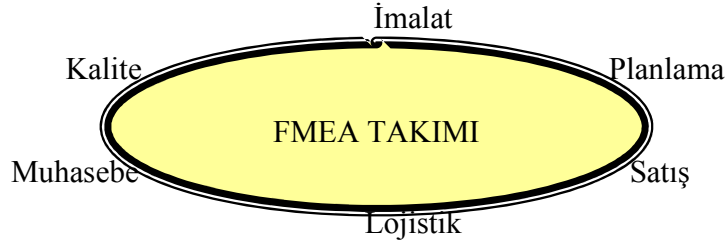
Prensipteki koşullar yanında bir de metodik koşullar vardır. Analizi gerçekleştirebilmek için şu koşullara uyulmalıdır: FMEA'nın amacı, hatasız parça veya fonksiyonların müşteriye teslim edilmesidir.

- FMEA'da ortaya çıkan bilgiler veya bulgular hemen tanımlanmalı ve değerlendirilmelidir.

²² OYAK-RENAULT, "Hata Türü ve Etkileri Analizi", s.4.

3.4. FMEA'nın Çalışma Prensibi

FMEA'nın çalışma prensibi bir FMEA takımı olarak şematize edilebilir. FMEA taslakları, süreçlerin, organizasyonların v.s. gerçekleştirilmesindeki risklerin önlenmesinde analitik bir yöntemdir.



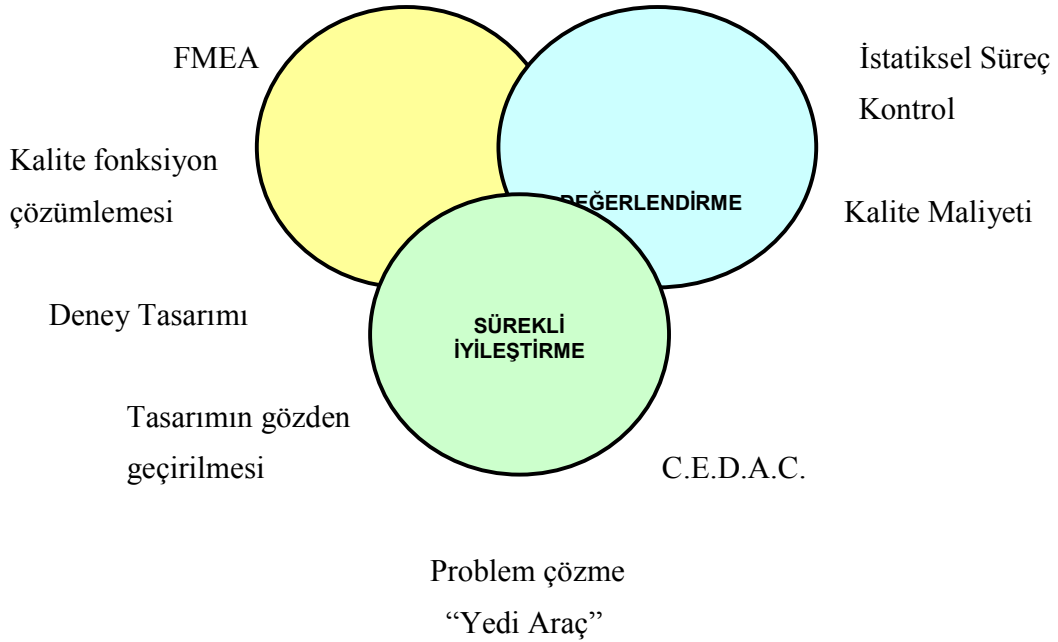
3.5.FMEA'nın Adımları

FMEA Çalışması bir ekip işidir, işin başlangıcında yapılacak işlemlerin belirlenmesini sağlar. Bu işlem şöyle sıralanabilir:

- Analiz edilecek problemin seçimi ve sınıflandırılması ve kayıt formlarının hazırlanması
- Temel verilerin tanımlanması ve değerlendirilmesi
- Risk Öncelik Göstergesi (Hata Önleme Sırasını Belirleyen Sayı) sayısını bulmak için temel verilerin varsayımlara dayalı birleştirilmesi
- Düzeltici önlemlerin gerekliliği konusunda hipotezlerin kontrol edilmesi
- Gerekli önlemlerin tanımlanması ve değerlendirilmesi,

3.6. FMEA ve Toplam Kalite

FMEA'yı anlatmadan önce, bu tekniğin toplam kalite içindeki yerini göstermekte yarar vardır.



Şekil 3.2. Toplam Kalitenin Üç Bölgesi

Duman, E. , “**Hata Türü ve Etkileri Analizi**” , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2001.

Şekilde Önleme, Değerlendirme ve Sürekli İyileştirme öğeleri gösterilmiştir. Bu öğeler, yönetim anlayışı ve felsefesini, organizasyonu, yöntemleri ve sistemleri kapsar, insana en ön sırada değer vermeyi gerektirir, bilimselliği her faaliyete şart koşar.

Önlemeye Dönük Yaklaşım

Toplam kalite modelinin temelinde, “hataları ayıklamak” yerine “hata yapmamak” yaklaşımı vardır. Kalite-maliyet ilişkisinde çok önemlidir. Nitekim, sanayide kalite evrimi de son muayeneden başlamış, Tasarımda Kalite (QFD) aşamasına kadar gelmiştir.

Önemeye dönük yaklaşımın genel bir ifadesi, planlamanın doğru yapılması şeklinde özetlenebilir. Her yönü ile düşünülmüş kapsamlı ve titiz bir çalışma ile oluşabilen hataların çok büyük bir bölümü ortadan kaldırılabilir. Tüm hata kaynaklarını bilmek mümkün değil ise de, olası sürprizlere önceden hazırlanmak tamamen hazırlıksız yakalanmaya karşı büyük avantaj sağlar. Diyebiliriz ki, planlamaya harcanan her dakika son derece değerlidir.²³

Değerlendirme (Ölçüm ve İstatistik)

Rekabetin temel kriteri olan kalite-maliyet-termin üçlüsünden üstünlük sağlamak için, şirketin her yönü ile gelişmesi gerekir. Ölçülemeyen şey geliştirilemez. Ölçüm ve istatistiğin toplam kalitede vazgeçilmez olmasının nedenleri şunlardır:

- Doğal olayların tümünde değişkenlik vardır. Bu değişkenliğin ölçebilmek için istatistiğe başvurmak şarttır.
- Hataların çok büyük bir bölümü değişkenlikten kaynaklanır. İstatistik biliminin tekniklerini uygulayarak değişkenliğin özelliklerini inceleyebilir ve hataların kaynakları belirlenir.
- İstatistik teknikleri analize yardımcı olduğu gibi, iletişimi de kolaylaştırır, konuya farklı açılardan bakan kişilerin aynı dili konuşmasına olanak sağlar.²⁴

Sürekli Gelişme

Günümüzün en yüksek rekabet gücüne sahip şirketlerinde kalite yönetiminin temeli, “Sürekli Gelişmeye” dayalıdır. En alt düzeydeki süreçten tüm şirketin içine alan hedeflere yönelik planlama ve uygulama çalışmaları bu anlayışa göre düzenlenmiştir. Hedef, belirli bir standardı tutturmak değil, seviyeyi sürekli ve hızlı bir tempoda geliştirmektir.

3.7. FMEA'nın Amaçları

²³ Kavrakoğlu, İbrahim, “Toplam Kalite”, s.33, 1992.

²⁴ Kavrakoğlu, İbrahim, “Toplam Kalite”, s.33,1992.

FMEA hata önleme tekniğidir, bununla birlikte temel amaçlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Hata/Arıza nedenlerini, etkilerini ve kritiklerini belirler,
- Ürünün kritik hata/arızalarını belirler,
- Hataları, kusurları, arızaları ve kritiklikleri ortadan kaldıracak veya en aza indirecek değişiklikleri, yöntemleri ve testleri kararlaştırarak ürünü geliştirmeyi sağlar.²⁵

İşletmelerde FMEA yapılırken hedeflenen diğer amaçlar şöyle sıralanabilir;

- Olası hata türlerini belirlenmesi ve etki şiddetinin derecelendirilmesi,
- Kritik özelliklerinin ve önemli özelliklerinin belirlenmesi,
- Olası tasarım ve süreç yetersizliklerinin önem sırasına göre sıralanması,
- Mühendislere ürün ve süreç ile ilgili endişelerin ortadan kaldırılmasında ve problemlerin ortaya çıkmasını önlemede yardımcı olması.

3.8. FMEA'dan Beklenen Yararlar

İşletmelerin FMEA'dan bekledikleri başlıca yarar emniyet, güvenilirlik, üretim teknolojisi alanlarındaki zayıflıkları belirlemektir.

Diğer yararları da şöyle sıralanır;

- Kalıplardaki ve donanımlardaki değişikliklerin sayısını azaltmak,
- Olası değişiklikler, kağıt üzerinde yapıldığında daha az maliyetli ve değişiklik uygulanabilir, buna karşın tezgahlarda, donanımlarda ve kalıplarda yapıldığında maliyet yüksektir ve uygulanabilirlik zordur.
- Ürünün satışa hazır olma süresinde azalma olur.
- İç hurdalarda azalma olur.
- Daha fazla müşteri memnuniyeti sağlanır.²⁶

Genel olarak;

²⁵ Kavrakoğlu, İbrahim, “Toplam Kalite”, s.35,1992.

²⁶ Boyacıoğlu, B., “Hata Etkileri Analizi – FMEA”, Elginkan Vakfı Eğitim Semineri, 1998.

- Ürünlerin kalite, güvenilirlik ve emniyetini geliştirir.
- Şirketin toplumdaki imajını ve rekabet yeteneğini geliştirir.
- Müşteri memnuniyetinin artmasına yardımcı olur.
- Ürün geliştirme, zaman ve maliyetini azaltır.
- Riski azaltmak için yapılan çalışmaların izlenmesini ve belgelendirilmesini sağlar.²⁷

3.9. FMEA'nın Başlatılması, Günün Gereksinmelerine Göre Düzenlenmesi ve Tamamlanması

FMEA aşağıdaki durumlarda başlatılır;

- Yeni ürünler ve süreçler tasarlanıyorken,
- Mevcut tasarımlar ve süreçler değiştiriliyorken,
- Bir problem çözme çalışması tamamlandıktan sonra (problemlerin yeniden ortaya çıkmasını önlemek için)
- Süreç FMEA için, ürün ilk çizimleri tamamlandıktan sonra başlatılır.

FMEA'nın günün gereksinmelerine göre düzenlenmesi, bir ürünün tasarım, uygulama, çevre, malzeme veya montaj süreçlerinde bir değişiklik söz konusu olduğunda,

FMEA'nın tamamlanması aşağıdaki durumlarda gerçekleşir;

- Bir ürün tasarımına üretim için onay verildiğinde, tasarım FMEA çalışmasının tamamlandığı var sayılır.
- Bütün işler, bütün kritik ve önemli özellikler belirlendiğinde ve kontrol planı tamamlandığında, bir Süreç FMEA çalışması tamamlanmış var sayılır.

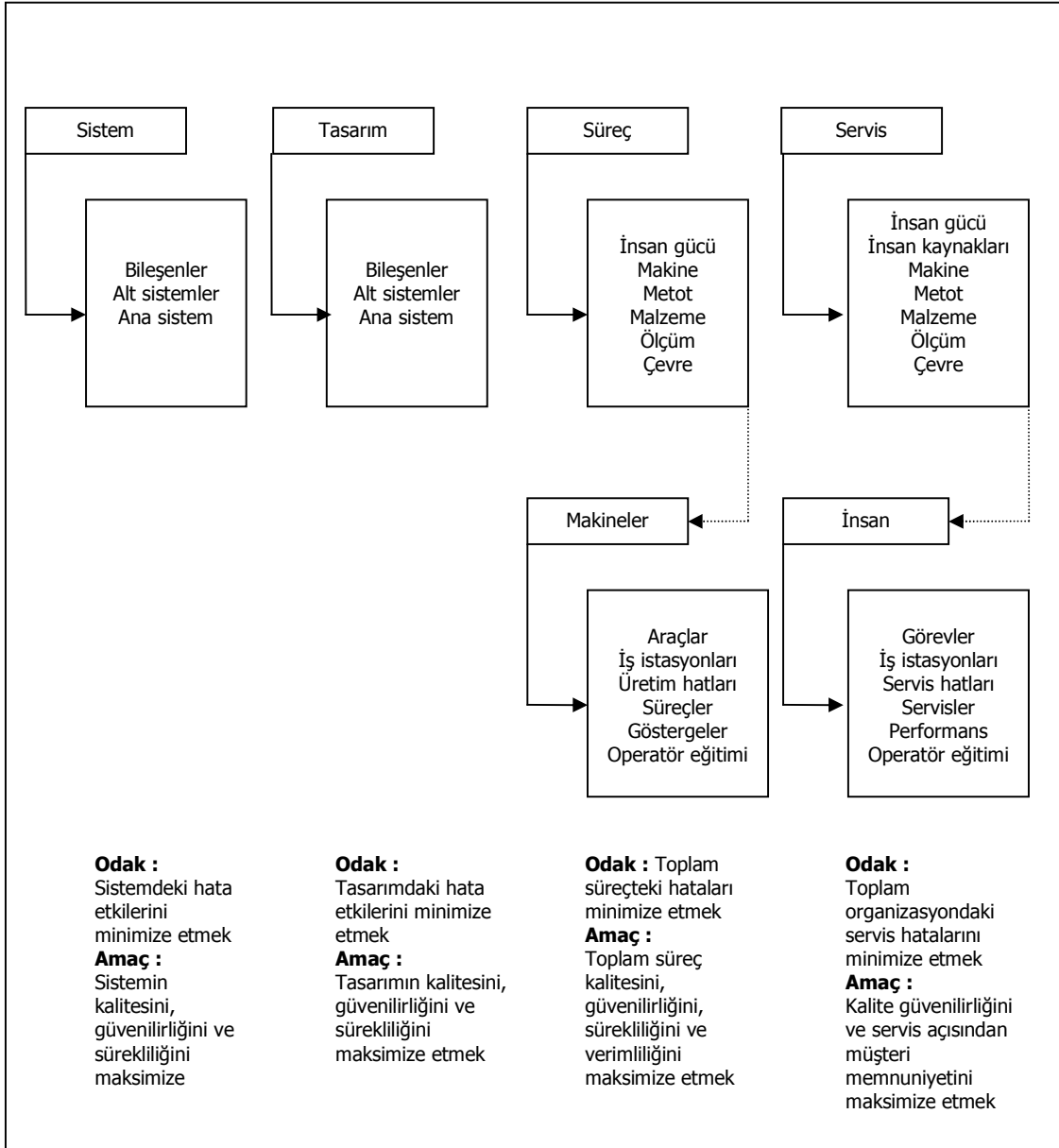
²⁷ Ford Motor Company, "Failure Mode and Effects Analysis Handbook" , Ford Motor Company, Dearborn, 2000

3.10. Hata Türleri ve Etkileri Analizinin Türleri

Hata türleri ve Etkileri Analizinin uygulama aşamaları birbirine çok benzemekle birlikte uygulama yerlerine ve amaçlarına göre dört türü vardır.²⁸

- **Sistem FMEA** : Bütün donanımların ve tasarımın tamamlanmasının sonrasında üretim, kalite güvence gibi sistemlerin akışını en elverişli hale getirmek için kullanılan bir yöntemdir. Sistem FMEA sistemde bozukluklara neden olan potansiyel hata türlerine odaklanır.
- **Tasarım FMEA** : Tasarım FMEA, ürün deneme safhasından önce tasarım esnasında veya ürünün fizibilite çalışmaları esnasında karmaşık ürünlerdeki ana riskli bölgeleri bulup ortaya çıkarmak için yapılan FMEA çalışmasıdır.
- **Süreç FMEA** : Üretim ve montaj işlemlerini analiz etmek için kullanılır. Üretim ve montaj işlemlerinde aksaklıklara yol açan hata türleri üzerine odaklanır.
- **Hizmet FMEA** : Müşteri hizmetlerini geliştirmek amacıyla üretim, kalite güvence ve pazarlama koordinasyonu ile uygulanan bir yöntemdir.

²⁸ Stamatis, “**Failure Mode and Effect Analysis-FMEA from Theory to Execution**”, ASQC Quality Press, Wisconsin, 1995.



Şekil 3.3. FMEA Türleri ve Aralarındaki ilişkiler

Yılmaz, B. S., “Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi: Hata Türü ve Etki Analizi”, Vol.2, No.4, 2000.

Bu hata türleri ve etkileri analizi türlerinden temel olarak bir ayrım yapıldığında hata türleri ve etkileri analizini ;

- Tasarım FMEA
- Süreç FMEA

olmak üzere ikiye ayrılabiliriz. Bu iki tür genellikle işletmeler tarafından tercih edilmektedir. FMEA çalışmalarında yüksek verim alabilmek için önce tasarım sonra Süreç FMEA ‘nın kullanılması gereklidir.

3.10.1. Tasarım FMEA

Tasarım FMEA, herhangi bir tasarımdan sorumlu mühendis/ekip tarafından, tasarımda ortaya çıkabilecek olası Hata Türleri ve Sebeplerinin tüm kapsamıyla ele alındığı, tanımlandığı ve çözümlendiği analitik bir tekniktir. İlgili her bir sistem, alt sistem ve bileşen değerlendirilir. Diğer bir deyişle özenle ve uygun şekilde yapılmış bir Tasarım FMEA, tasarlanan bir bileşen, alt sistem veya sistem için, ekip düşüncelerinin özetidir. Bu sistemli yaklaşım, tasarım mühendisinin herhangi bir tasarım sürecindeki zihinsel disiplinini paralelleştirir ve belgelerir.

Tasarım FMEA, tasarım ihtiyaçlarının ve alternatiflerinin değerlendirilmesinde, sistemin işleminde oluşabilecek hata türleri ve onların sonuçlarının tasarım/geliştirme sürecinde ele alınmasında, tam ve etkili tasarım ve test geliştirme programlarının planlanmasında ek bilgiler sağlayacak bir referans oluşturur. Tasarım FMEA, özellikle ürünün güvenilirlik ve emniyetine zarar verebilecek herhangi bir durumu veya zayıf noktaları belirlemek için tasarımı analiz etmenin etkili bir yöntemidir.

Bir Tasarım FMEA için müşteri, son kullanıcı (ürünü satın alıp kullanan) olmayıp, aynı zamanda üst sistemlerin veya nihai ürünün tasarım mühendisleri/ekipleri, üretim ve montaj sürecinden sorumlu mühendisler ve servis mühendisleridir.

Tasarım FMEA tasarım aşamasında ürüne şu şekillerde katkılarda bulunur:²⁹

- Ürünün mümkün hatalarının ürün gerçekleştirilmeden önce tespit edilmesini sağlar,
- Uyulması gereken, ürün emniyet kurallarının tanımlanmasına yardımcı olur ve tasarım esnasında gerekli önlemlerin alınmasına sağlar,
- Ürün tasarım gereksinimleri ve alternatiflerinin değerlendirilmesine yardımcı olur,
- Kritik ve önemli özelliklerin belirlenmesine yardımcı olur,
- Tasarım iyileştirmeleri için önceliklerin belirlenmesine yardımcı olur,
- Tasarım esnasında oluşturulan gerçekçi bir belgelendirme sistemi gelecekteki ürün tasarımları için rehberlik eder.

3.10.1.1. Tasarım FMEA Ekibi :

Ekibin lideri birinci derecede sorumlu mühendis olmalı ve ekip eylemleri ve ekipteki değişiklikleri yönetmeli, çabaları yönlendirmeli, ekibin tam katılımını sağlamalıdır.

FMEA hazırlığı ekip liderinin sorumluluğunda olmasına rağmen, FMEA çalışması bir ekip çabasını gerektirir. Tasarım FMEA sürecinin başlangıcı esnasında, sorumlu mühendis, tüm etkilenen alanların temsilcilerinin doğrudan ve faal olarak ekipte bulunmasını sağlamalıdır.

FMEA ekibi genel olarak çekirdek ekip ve destek ekip olmak üzere iki ayrı gruptan oluşur. Çekirdek ekip üyeleri çapraz işlevsel ekip çalışmasının her aşamasına katılırlar, karar vericiler ve eylemlerin gerçekleştirilmesinden sorumludurlar.

²⁹ Aktaş, S., “Hata Türü ve Etkileri Analizi” , DEÜ Mühendislik Fakültesi Bitirme Tezi, İzmir, 1997.

Destek ekip üyeleri ise, özel görüş ve girdi sağlamak üzere, genelde gerektiği zaman katılırlar. Ekip üye sayısı beş ile on arasında olmalıdır.

Çekirdek Ekip :

- Tasarım Mühendisi
- Üretim/süreç Mühendisi

Destek Ekip :

- Servis
- Tedarikçi/yardımcı Sanayi
- Analiz/Test Operasyonları
- Kalite

Bu üyelerin yanı sıra bir sonraki üst veya alt grup, sistem veya bileşenin tasarımından sorumlu mühendisler de ekipte bulunmalıdır. FMEA, etkilenen fonksiyonlar arasındaki fikir alış verişini harekete geçirerek, bir ekip yaklaşımının ortaya çıkmasını sağlamalıdır.

3.10.1.2. Tasarım FMEA'nın Çıktıları :

- Potansiyel ürün hata türlerinin listesi,
- Potansiyel kritik ve belirleyici karakteristiklerin listesi,
- Kritik ve belirleyici karakteristikleri göstermek üzere yapılacak çalışmaların listesi,
- Ürün hata türlerini ortadan kaldıracak ya da tekrarını azaltacak tasarım önlemlerinin bir listesi

Çalışmaya başlarken aşağıdaki bilgi ve dokümanlar hazırlanır:

- Tasarımın amacı ve müşterinin ihtiyacı,
- Ürünlerde görülen hatalar,
- Düşünülen ve var olan kontrol planları,

- İlgili detay teknik çizimler, şemalar, şartnameler, talimatlar,
- Süreç ve montaj akış şemaları,
- Laboratuvar testleri ve talimatları,
- Parça örneği,
- Hata örneği.

3.10.2. Süreç FMEA

Süreç FMEA; herhangi bir süreçten sorumlu mühendis/ekip tarafından, süreçte ortaya çıkabilecek olası hata türleri ve ilgili sebeplerinin tüm kapsamıyla ele alındığı, tanımlandığı ve çözümlendiği analitik bir tekniktir.³⁰ Bu teknik; süreç hata türüyle ilişkili ürünün potansiyelini belirler, hataların müşteri üzerindeki etkilerinin potansiyelini ortaya çıkarır, potansiyel imalat ve montaj süreci hata sebeplerini belirler ve hata şartlarını ortaya çıkarmak veya önlemek için kontrole yoğunlaşmada gerekli olan önemli süreç değişkenlerini belirler.

Bir Süreç FMEA için müşteri normal olarak nihai müşteri (ürünü satın alıp kullananlar) olarak görülmelidir. Ancak, müşteri, bir sonraki ve daha sonraki imalat/montaj operasyonları ve servis operasyonları da olabilir.

Süreç FMEA, imalat sırasında ürüne ve sürece şu katkılarda bulunur:

- Yeni üretim ve montaj süreçlerinin incelenmesine yardım eder,
- Olabilecek üretim hata ve hata etkilerinin göz önünde tutulmasını sağlar,
- Hatalı ürünlerin üretilme olasılığını azaltmak için kontrollere veya hataları keşfetmek için çeşitli yöntemlere mühendisleri ve çalışanları odaklayarak sürecin olumsuzluklarının ortaya çıkmasını sağlar,
- Kritik ve önemli özellikleri belirler, iyileştirme faaliyetleri için öncelik sırası yaratır,

³⁰ Ford Motor Company, “**Failure Mode and Effects Analysis Handbook**” , Ford Motor Company, Dearborn, 2000

- Süreç değişiklikleri sırasında oluşturulan gerçekçi bir belgelendirme sistemi gelecekte geliştirilecek olan üretim ve montaj süreç tasarımları için rehberlik eder.

3.10.2.1. Süreç FMEA Ekibi :

FMEA hazırlığı ekip liderinin sorumluluğunda olmasına rağmen, FMEA çalışması bir ekip çabasını gerektirir. Tasarım FMEA sürecinin başlangıcı esnasında, sorumlu mühendis, tüm etkilenen alanların temsilcilerinin doğrudan ve faal olarak ekipte bulunmasını sağlamalıdır.

FMEA ekibi genel olarak çekirdek ekip ve destek ekip olmak üzere iki ayrı gruptan oluşur. Çekirdek ekip üyeleri çapraz işlevsel ekip çalışmasının her aşamasına katılırlar, karar vericidirler ve eylemlerin gerçekleştirilmesinden sorumludurlar. Destek ekip üyeleri ise, özel görüş ve girdi sağlamak üzere, genelde gerektiği zaman katılırlar. Ekip üye sayısı beş ile on arasında olmalıdır.³¹

Çekirdek Ekip :

- Tasarım Mühendisi
- Üretim/süreç Mühendisi

Destek Ekip :

- İmalat

³¹ Duman, E. , ‘‘Hata Türü ve Etkileri Analizi’’ , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2001.

- Tedarikçi/yardımcı Sanayi
- Bakım
- Kalite
- Bir sonraki operasyonun Süreç Mühendisi

alanlarından gelen tecrübeli ve bilgili bireylerden oluşabilir.

3.10.2.2. Süreç FMEA' nın Çıktıları :

- Potansiyel süreç hata türlerinin bir listesi
- Potansiyel ve kritik belirleyici karakteristiklerin bir listesi
- Ürünlerin kritik ve belirleyici karakteristikleri için tavsiye edilen önlemler listesi
- Süreç yeterliliği iyileştirilemiyorsa, ürün hata türlerini ortadan kaldıracak ya da sıklığını azaltacak veya hata tespit yöntemlerini geliştirecek süreç önlemlerinin bir listesi

Süreç FMEA, bütün yeni ürünlerde, değişiklik yapılan parçalarda ve yeni üretim teknolojilerinin uygulandığı parçalara ait üretim süreçlerinde uygulanmalıdır. Bu noktada FMEA, ürünle ilgili sürecin hata türlerini, hatanın gelecekte müşteriler üzerindeki etkisini ve üretim ve montajda ortaya çıkabilecek süreç hatalarının sebeplerini ortaya koyar.

Süreç FMEA girdilerinin bir çoğu tasarım FMEA'dan veya tasarım FMEA' nın önerilen eylemlerinin sonuçlarından gelir. Aynı zamanda, tasarım ve süreç FMEA' nın sütunları arasında da çok güçlü bir ilişki vardır. Etkileri ve onların şiddet dereceleri, süreç FMEA' ya ilave edilen etkilerle doğrudan bağlantılıdır. Diğer ilişkiler daha güç fark edilir. Örneğin; tasarım sebepleri genelde süreç hata türlerine neden olurlar.

Süreç FMEA 'ya başlamadan önce üretim sürecinin hangi bölümünün dikkate alınacağı tam olarak belirlenmelidir. Belirlenen ürün için tüm üretim süreçlerini kapsayan bir çalışma yapılmasına gerek yoktur. Tüm süreci kapsam içine almak imkansızdır. Bunun yerine üretim süreci, bağımsız aktiviteler ve kademelere bölünerek incelenir.

Süreç FMEA, yaşayan bir belgedir ve ön hazırlık çalışmaları sırasında ya da öncesinde başlatılmalı ve bağımsız parçalardan başlayarak, üst takımlara kadar olan bütün üretim çalışmalarını içine almalıdır. Süreç FMEA, ürünün tasarlandığı şekli ile tasarım amaçlarını karşılayacağını varsayar, tasarım zayıflığı nedeniyle oluşabilecek hataları kapsamaz. Bunların etkileri ve analizi tasarım FMEA' nın kapsamına girer.

Süreç FMEA çalışmasında öncelikle,³²

- Ürünün birincil ve ikincil fonksiyonları yazılır,
- Ürün fonksiyonlarını meydana getiren parçalar belirlenir,
- Her bir parçanın fonksiyonu belirlenir,
- Parçanın fonksiyonlarını yerine getirebilmesini sağlayacak özellikler belirlenir,
- Her bir parçanın aşamalarını sağlayacak süreç aşmaları belirlenir .

3.10.3. Tasarım ve Süreç FMEA Arasındaki Farklılıklar

Tasarım ve Süreç FMEA arasındaki farklılıklar tablo 3.1'de belirtilmiştir:

Tablo 3.1 - Tasarım – Süreç FMEA Arasındaki Farklılıklar

Aktaş, S., “**Hata Türü ve Etkileri Analizi**” , DEÜ Mühendislik Fakültesi Bitirme Tezi, İzmir, 1997.

³² Aktaş, S., “**Hata Türü ve Etkileri Analizi**” , DEÜ Mühendislik Fakültesi Bitirme Tezi, İzmir, 1997.

Tasarım FMEA	Süreç FMEA
Ürünlerin seri üretimine geçmeden önce tasarımında kullanılır.	Üretim ve montaj süreçlerinin tasarımında kullanılır.
Tasarım hatalarından kaynaklanan ürünler üzerindeki performans düşüren potansiyel hata türleri ile ilgilenir.	Üretim ve montaj hatalarından kaynaklanan performans düşüren potansiyel hata türleri ile ilgilenir.

Tasarım ve süreç FMEA çalışmaları, genel olarak ürünün performansını düşüren potansiyel hata türleri üzerine odaklanan ortak tipteki çalışmalar olup en büyük farkları tasarım FMEA'nın ürün tasarımında, süreç FMEA'nın ise üretim ve montaj süreci tasarımında kullanılıyor olmasıdır.

3.11. Hata Türleri ve Etkileri Analizinde Kullanılan Bazı Araçlar

3.11.1. Kalite Fonksiyon Açılımı (QFD)

Kalite Fonksiyon Açılımı, yaratıcılarından biri olan Akae tarafından şöyle tanımlanmaktadır: “QFD müşteriye tatmin etmek ve müşterinin taleplerini tasarım hedeflerine ve üretim sırasında kullanılacak başlıca kalite güvence noktalarına dönüştürmek

amacıyla tasarım kalitesini geliştirmeyi amaçlayan bir yöntemdir. QFD; tasarım kalitesini ürün daha tasarım aşamasındayken güvence altına almanın bir yoludur.”³³

QFD, müşteri girdilerinin tasarım, imalat ve servise kadar iletilmesinin, biçimi eve benzeyen bir dizi matris kullanarak fonksiyonlar arası bir takım tarafından yapıldığı bir ürün (hizmet) geliştirme sürecidir.

Guinta ve Praizler KFA’yı “müşterileri dinleyip tam olarak ne istediklerini öğrendikten sonra, bu ihtiyaçların eldeki kaynaklarla en iyi şekilde nasıl karşılanacağını belirlemenin mantıksal bir yoludur” şeklinde tanımlamaktadır.

Tüm bu tanımlardan yola çıkararak, kapsamlı bir biçimde Kalite Fonksiyon Aınımı’nı **“müşterilerin beklentilerinin, isteklerinin ve algılayamadıkları ihtiyaçlarının belirlenmesini, tespit edilen bu beklenti, istek ve ihtiyaçların örgütün bütün fonksiyonel bileşenlerindeki ürün ya da hizmet karakteristiklerine dönüştürülmesini sağlayan ve fonksiyonlar arası bir takım tarafından yürütülen, detaylı ve yapıllaşmış fakat esnek ve anlaşılması kolay bir ürün ve hizmet geliştirme yöntemidir”** olarak tanımlayabiliriz.

³³ Yenginol, F., ‘Yeni rn Geliştirmede Müşteri İstek ve İhtiyaçlarını Teknik Karakteristiklere Dönüştürmeyi Sağlayan Bir Yöntem: Kalite Fonksiyon Göçerimi’, Dokuz Eylül Üniversitesi Doktora Tezi, İzmir, 2000.

3.11.1.1. QFD (Kalite Fonksiyon Açılımı)'nin Faydaları :

Hizmet ve ürün kalitesi, müşteri istek ve beklentilerine uygun, rakiplerden iyi ve şirket hedefleri ile uyumlu olduğu ölçüde yüksektir. QFD- Kalite fonksiyonları açılımı, "Müşteri sesinin" teknik gereksinimler ve operasyonel terimler cinsinden ifade edilmesi ve matris şeklinde gösterilmesi ve dökümanite edilmesini sağlar. Kalite fonksiyonlarının açılımı, rekabet gücünü artırıcı şekilde en önemli hususların vurgulanmasını ve bir takım alanların hedef alınmasını kolaylaştırır. Ürünün kendine has özelliklerine bağlı olarak, bu yöntem kalite planlama sürecinin yapısı olarak da kullanılabilir.³⁴ Özellikle KFA'nın ilk aşaması -Ürün Planlama, müşteri beklentilerini yani "Müşteri sesi" ni tam olarak kontrol özelliklerine ve tasarım gereksinimleri haline dönüştürür. KFA müşteri beklentilerini nihai ürün ve süreç kontrol karakteristikleri haline dönüştürülmesini sağlayan sistematik bir yöntemdir. KFA'nın uygulandığı şirketlere NASA, USAF, BOSCH, Hitachi, Mobil, HP, IBM, Kodak, Pepsi, Polaroid, Citycorp, 3M, Canadian Airlines, Marriott, AT&T, Motorola, NCR, Salamon örnek olarak verilebilir.

KFA'nın temel özellikleri, gerçek müşteri ifadelerini kullanarak pazarın ihtiyaçlarını karşılamaya odaklanması, etkin bir disiplinler arası takım çalışmasını uygulaması ve "Kalite Evi" matrisi adı verilen bilginin, algıların ve kararların dökümanite edilmesini sağlayan kapsamlı bir matris kullanmasıdır³⁵.

KFA takımı, müşteri isteklerini belirledikten sonra; KFA iki temel amaç için kullanılır;

1. Organizasyonun her yerinde, müşteri istekleri iletişiminin gelişmesini sağlamak,
2. Ürün özelliklerinin tamamlanmasının geliştirilmesini ve doğrudan müşteri istek ve ihtiyaçlarına yönlendirilmesini sağlamak.

KFA, ürünün tanımında yer alan, üretimde söz sahibi olan farklı organizasyonlardan temsilcilerin katılımını gerektiren bir çalışmadır³⁶. Böylece, farklı organizasyonların

³⁴ Kalite Fonksiyonları Açılımı (QFD), <http://www.coskunuz.com.tr/sosyal-1-1.html>

³⁵ Lowe, A.J. and Ridgway, K. "Quality Function Deployment", <http://www.shelf.ac.uk/~ibberson/qfd.html>

³⁶ Why use QFD? http://www.iti-oh.com/cppd/qfd/qfd_basics.htm

temsilcileri, müşteri isteklerinin anlamlarını tartışır ve ortak bir paydaya ulaşmak için birlikte çalışırlar. Bu sayede, organizasyon içi iletişim gelişir ve artar.

Tüm bu açıklamaları göz önüne alarak aşağıda maddeler halinde KFA' nın faydalarına yer verilmiştir:

- Pazara ulaşma zamanının azalması,
 - Tasarım değişikliklerinde azalma;
 - Tasarım ve üretim maliyetlerinde düşme;
 - Kalitenin artması;
 - Müşteri tatmininin artması;
 - İç müşteri, çalışanların tatmininin artması;
 - Sorunların daha iyi dökümante edilmesinin sağlanması;
 - Mühendislik çalışmalarından doğan değişiklik sayılarının azalması,
 - Birbiriyle çakışan tasarım gereksinimlerinin tanımlanması,
 - Değişik firma faaliyetlerinin müşteri kaynaklı hedeflere odaklanması,
 - Ürün geliştirme çevrim süresinin azaltılması,
 - Mühendislik, üretim ve servis maliyetlerinin azaltılması,
 - Ürün ve servis kalitesinin artırılması.
 - KFA, şirketlere; müşteri isteklerinin, rakiplerin performanslarının ve şirket hedeflerinin paralelinde “hizmet tasarımı” imkanı sunmaktadır. Şirketin, elindeki kaynakları optimum olarak, müşteriye değer yaratacak şekilde kullanmasını; rekabet açısından gereksiz ve müşterinin istemediği ürün veya hizmet özelliklerinin işin daha en başında, tasarım aşamasından elenmesini sağlayacaktır³⁷.
- Müşteri ihtiyaçlarının karşılanma garantisinin artması,
- Tüm KFA uygulamaları kullanılan verilerin anlaşılmasında ciddi yardımcı konumunda olabilirler. Ayrıca KFA, yalnızca üretim aşamasına da monte edilebilmektedir.

³⁷ Müşteri Odaklı Hizmet Tasarımı, <http://www.idea.com.tr/05psh/sqfd.htm>

Bu şekilde belki müşteri tatminini tam olarak karşılamayan ürün üretmiş olunacaktır ancak kaçınılmaz bir şekilde üretim süreci geliştirilecektir.

- KFA bir organizasyonun varolan dizayn sürecini değiştirmez. Bununla beraber KFA belirli bir sıralama ve belirleme ile varolan dizayn sistemine eklenebilir. KFA dizayn sürecinin belirli aşamalarına monte edilebilir. Bu yaklaşım dizayn takımının KFA' ya nerede başlayıp nerede bitirebileceklerini kolayca belirleyebilecekleri esnekliktedir³⁸.

3.11.1.2. QFD Süreci :

QFD- KFA Süreci aşamalı bir süreçtir ve dört aşamadan oluşur. İlk aşama 0 ile gösterilmektedir; zira bu aşamada henüz KFA süreci uygulamaya geçmemiştir ve dolayısıyla 0. aşama ön hazırlık aşamasıdır.

Aşama 0 : Planlama

Aşama 1 : “Müşterinin Sesi”nin Toplanması

Aşama 2 : Kalite Evinin Oluşturulması

Aşama 3 : Sonuçların Analizi ve Yorumlanması

3.11.2. Sınır Diyagramı :

Bir FMEA' nın genişliğini belirlemek için, sınır diyagramının kullanılması gerekir. Bu araç, özellikle ekip için, analizin sınırlarını tanımlar ve proje kapsamı için beklentileri düzenler.

Bir sınır diyagramı, karmaşık bir sistem veya grubu yönetilebilir bir düzeye bölmek için kullanılan zorunlu bir araçtır. Bir sistemi oluşturan, çeşitli alt sistemler, gruplar, alt gruplar ve bileşenler arası ilişkileri grafik olarak gösterir. doğru oluşturulduğunda, FMEA ve P-diyagramına detaylı bilgi sağlar. Tamamlandığında veya değiştirildiğinde, sınır diyagramı, FMEA' ya iliştirilir.

³⁸ QFD (Quality Function Deployment) - Kalite Fonksiyonu Açılımı,
<http://www.mylmz.net/Kalite/QFD/QFD.htm>

Sınır Diyagramları herhangi bir ayrıntı seviyesinde kurulabilir. Ana elemanların belirlenmesi, bu elemanların karşılıklı nasıl etkilendiğinin ve tasarımda önerilen dış sistemlerle nasıl etkileşime girdiğinin anlaşılması önemlidir.

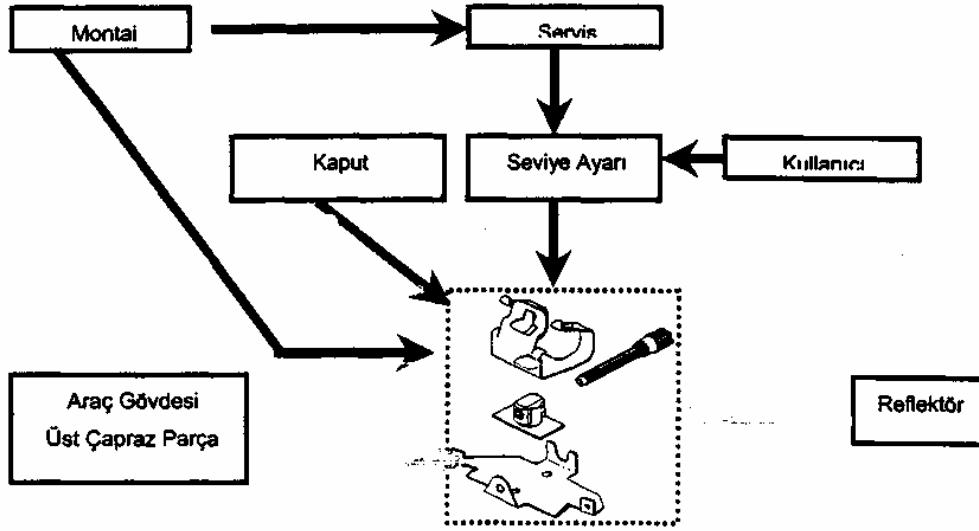
Bir sınır diyagramı, bir ürünün elemanları arasındaki karşılıklı ilişkileri içermelidir. Etkileşim matrisi, sınır diyagramına yararlı bir girdi olabilir. Sınır diyagramı, tasarım programının başında, temel fonksiyonları ve onların karşılıklı etkileşimlerini, temsil eden birkaç bloktan oluşur. Tasarım olgunlaştıkça, sınır diyagramları, bileşen düzeyine kadar daha alt seviyeleri içerecek şekilde genişletilir.

Bir sistemin FMEA' sında sınır diyagramı, kapsam içerisindeki çeşitli alt sistemleri temsil eden bloklara sahip olabilir. Detaya inildiğinde, bu alt sistemin FMEA' sında sınır diyagramı, alt sistemin bileşenlerini blok elemanları olarak gösterecektir.

Fonksiyonel sınır diyagramı oluşturmanın katı kuralları yoktur. Bazı temel noktalar şunlardır.

- En üst ilişki düzeyinden başlanır. Bir sistem inceleniyorsa oradan başlanır. Eğer bir alt sistemle ilgileniliyorsa oradan başlanır.
- Sistem alt sistem veya grubu oluşturan bir sonraki alt düzey elemanlar (bloklar) belirlenir. Mevcut olan ayrıntılara göre, daha alt düzeylere inilir.
- Her fonksiyon bir veya daha fazla blok tarafından içerildiğinden emin olunmalıdır. Fonksiyonlar yerine getirilme sırasına göre gösterilir. Gerekli tüm fonksiyonlar listelenerek, önerilen sistem elemanlarının karşılıklı etkileşimleri gösterilir.
- Sistem girdileri (müşteriden gelen girdiler dahil) ve sistem çıktıları belirlenir. Bu süreçte bir P-diyagramı ve bir etkileşim matrisi kullanılır.
- Sistemin elemanları (blokları) arasındaki karşılıklı ilişkiler belirlenir.
 - Bilginin, sinyallerin, akışkanın, enerjinin vs. akışları gösterilir.
 - Girdileri, çıktıları, ilişkileri ve akışı gösteren çizgiler kullanılır.
- Sınırın etrafı kesikli çizgiyle, bir kutu olarak gösterilmelidir.

Şekil 3.4' de basit bir sınır diyagramı örneği görülmektedir.



Şekil 3.4 : Far Seviye Ayar Sistemi İçin Sınır Diyagramı Örneği

3.11.3. Etkileşim Matrisi :

Etkileşim matrisi, sistem etkileşimlerinin kuvvetini belirler ve sayısalılaştırır. Bu noktada, karşılıklı etkilerin ortaya konulmaması, garanti veya ürünlerin geri çağırılması/toplatılması

gibi problemlere neden olabilir. Bu nedenle, yeni tasarımlarda etkileşim matrisi mutlaka kullanılmalıdır.

Etkileşim matrisi, FMEA formundaki hasarın olası sebepleri sütununun, Sınır Diyagramının ve P-diyagramının bir girdisidir. Etkileşim matrisi, Tamamlandığında veya tekrar gözden geçirildiğinde, FMEA' ya iliştilir.

Bir Etkileşim matrisi;

- İlişkinin olması veya olmaması gerektiğini göstererek, ilişkinin türünü tanımlayarak(ör: Enerji transferi, bilgi alışverişi vs.)
- Bir sistemin karşılıklı etkilerini belirler ve sayısallaştırır.

Etkileşim matrisi aynı zamanda, sebeplerin geçerliliğini kontrol etmek için kullanılır. Pozitif veya negatif, her tür karşılıklı etki doğrulanmalıdır. Negatif değerler düzeltici eylem önerileri için incelenir.

Tablo 3.2' de bir otomobil ön far sistemi için yapılmış bir etkileşim matrisi görülmektedir.

Tablo 3.2 Bir Etkileşim Matrisi Örneği

	Kaput	Ön Gövde Paneli	Far Yuvası	Elektrik Tesisatı
1.00 Gövde: Kaput Açıklığı		-1	-1	0
1.0 Gövde Ön Panel Açıklığı	-1		2	2
1 Ön Far Yuvası	-1			2
Elektrik Tesisatı	0	2	2	

F : Fiziki Temas

E : Enerji Transferi

B : Bilgi Değişimi

M : Malzeme Değişimi

Her köşedeki sayı, pozisyonuna göre yukarıdaki etkileşim tiplerini temsil eder ve aşağıdaki anlama gelir:

- +2 : fonksiyon için etkileşim gerekli
- +1 : fonksiyonellik için etkileşim faydalı, fakat gerekli değil
- 0 : etkileşim fonksiyonelliği etkilemez
- 1 : etkileşimin olumsuz etkisi var, fakat fonksiyonelliği önlemez
- 2 : fonksiyonellik için etkileşim önlenmelidir

3.11.4. P (Parametre) – Diyagramı :

P-Diyagramı, bir fonksiyon için tasarlanan girdi ve çıktıların belirlenmesinde önerilen yapısal bir araçtır. Belirli bir fonksiyon için, bu girdi ve çıktılar belirlendikten sonra, hasar durumlarına öncülük edecek olan gürültü faktörleri listelenir(gürültünün beş temel kaynağına göre). Son olarak, belirlenen gürültü faktörlerini karşılayacak kontrol faktörleri saptanır.

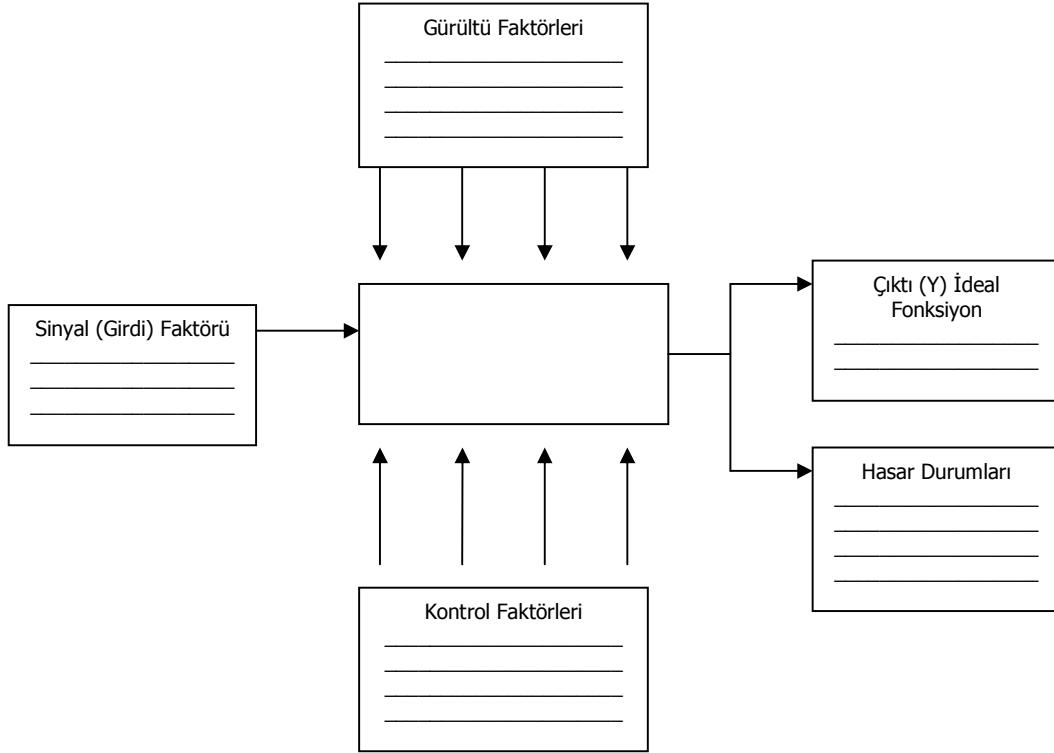
Gürültü faktörü, tasarımda genellikle gözden kaçırılan ve müşteri memnuniyetini etkileyen 5 maddeyi referans alan bir sağlamlık terimidir. Gürültünün bu beş temel kaynağı; sistem etkileşimi, müşteri kullanımı/kullanım oranı, çevre, zamanla eskime/bozulma, imalat değişkenliği olarak gruplandırılır.

P-diyagramının içeriğindeki ayrıntı düzeyine bağlı olarak, bu bilgi FMEA' nın çeşitli sütunlarına girdi olacaktır. P-diyagramı için ayrıntı, Etkileşim Matrisinden girdi olabilir. P-diyagramı, tamamlandığında ve tekrar gözden geçirildiğinde, FMEA' ya iliştilir.

P-diyagramı:

- Gürültü faktörlerini, kontrol faktörlerini, ideal fonksiyonu ve kusur durumlarını tanımlar.
- Aşağıdaki hususların belirlenmesine yardım eder:
 - Hasarın olası sebepleri (ör: sistem karşılıklı etkileşimleri, parçadan parçaya değişkenlik, iklim ve çevre koşulları ve müşteri kullanımı vs.)
 - Hasar türleri (ör : bozulma)
 - Hasarın olası etkileri (ör : hasar durumları)
 - Mevcut kontroller (ör : kontrol faktörleri)
 - Önerilen Eylemler (ör : kontrol faktörleri)

Şekil 3.5’ de boş bir P-Diyagramı örneği verilmiştir.



Şekil 3.5. P-Diyagramı

Duman, E. , “**Hata Türü ve Etkileri Analizi**” , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2001.

- Sinyal Faktörler (Girdi), incelenen fonksiyonu tetikleyen, girdilerdir(ör: sürücünün far düğmesini açması).
- İdeal Fonksiyon (Çıktı), ideal, tasarlanan fonksiyonel çıktılardır (düşük ışık huzmesinin faal hale gelmesi).
- Hasar Durumu, ideal fonksiyon yerine getirilmediğinde ortaya çıkan istenmeyen bir durumdur (ör: düşük ışık huzmesinin faal hale gelmesi istendiğinde yüksek ışık huzmesinin faal hale gelmesi).

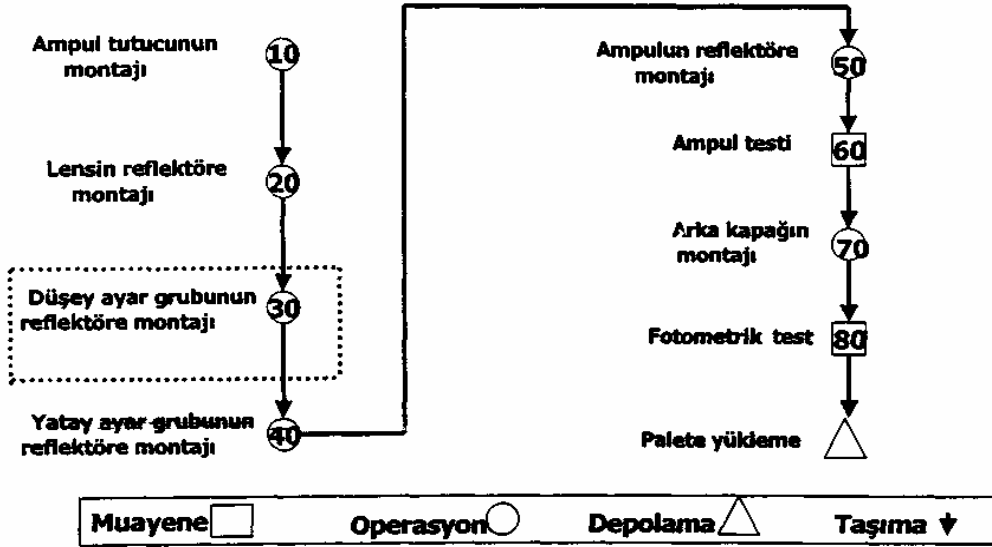
- Gürültü Faktörleri, bir fonksiyonun hasarına yol açacak, arzu edilmeyen etkileşimler veya koşullar ve karşılıklı etkileridir(ör : titreşimin neden olduğu parça aşınması).
- Kontrol Faktörleri, oluşabilecek kusur durumlarının olasılığını azaltmaya yönelik olarak, tasarıma daha önceden dahil edilmiş faktörlerin bir listesidir (boyutlar, malzemeler vs.)

3.11.5. Süreç Akış Diyagramı :

Süreci akış Diyagramları, üretim ve montaj süreçleri için müşterek bilgiye dayandırılarak oluşturulur. Ekip sürecin akışını analiz eder ve akış diyagramını oluşturur. Süreç akış diyagramı mutlaka kullanılmalı ve FMEA'ya iliştilirilmelidir.

Süreç akış diyagramı oluşturulurken “ Sürecin ne yapması gerekir? Amacı nedir? Fonksiyonu nedir?” soruları sorulur.

Şekil 3.6. ve 3.7.'de otomobilin ön far grubu montajına ilişkin süreç akış diyagramları verilmiştir.



Şekil 3.6. Ön Far Montajı – Makro Akış Diyagramı

Duman, E. , ‘‘Hata Türü ve Etkileri Analizi’’ , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2001.

Değişkenliğin Kaynakları	Amaç/Proses Tanımı	Operasyon Aşamaları	Ürün veya Proses Özellikleri
<ul style="list-style-type: none">• Hava basıncı• Alet kalibrasyonu• Operatör tabancayı durdurmuyor• Yanlış vida	Alt tablayı reflektöre yerleştirip sık (2 vida)	30.1	<ul style="list-style-type: none">• Alt tablanın doğru yönlendirilmesi• Doğru yerleştirme• İki (2) XYZ vidaları• Doğru tork X +y
<ul style="list-style-type: none">• Tedarikçiden yanlış detay formasyonu• Operatör doğru oturtamıyor• Operatör doğru yerleştiremiyor	Burnu sokun ve önceden gruplanmış vida ve yayı yerleştir	30.2	<ul style="list-style-type: none">• Doğru yönlendirme• Doğru yerleştirme• Olumlu yerleştirildi
<ul style="list-style-type: none">• Operatör eğitimsiz	Ayar grubunun gözle muayenesi	30.3	

Şekil 3.7. Ön Far Montajı – Mikro Akış Diyagramı

Duman, E. , ‘‘Hata Türü ve Etkileri Analizi’’ , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2001.

3.11.6. Ürün Özellik Matrisi :

Hangi ürün özelliklerinin, hangi süreç operasyonlarınca etkilendiğini gösteren tabloya Özellik Matrisi denir. Bu matris, üründen sürece ve üründen ürüne bağlantıyı geliştirmede yardımcı olarak önerilir. Bu matrisi derlerken, Tasarım FMEA’ da belirtilen parça özelliklerini tehlikeye atacak olan tüm süreç adımları belirlenmelidir. Tamamlandığında veya düzeltme yapıldığında, ürün özellik matrisi FMEA’ ya iliştilir .

Tablo 3.3. Ürün Özellik Matrisi Örneği

Duman, E. , ‘**Hata Türü ve Etkileri Analizi**’ , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2001.

Ürün Özellikleri	30.1	30.2	30.3
Doğru yönlendirme – alt tabla	A		
Doğru yerleştirme – alt tabla	X		
İki (2) XYZ vidaları	A		
Doğru tork X +- Y	X		
Doğru yönlendirme yay/vida grubu		X	
Doğru yerleştirme yay/vida grubu		X	
Doğru olarak yerleştirilmiş yay/vida grubu		X	

Açıklamalar :

X – Özellik yaratılmış veya değiştirilmiş

C – Özellik kenetlemek için kullanılmış

L – Özellik yerleştirmek için kullanılmış

T – Ortak takım birden daha fazla özellik yaratır

M – Özellik otomatik olarak izleniyor

A – Tamamlanmış bir ürün özelliğinin diğeri üzerine kuvvetli etkisi vardır.

3.12. Süreç Yaklaşımında FMEA İle Birlikte Kullanılan Metodlar

Otomotiv işletmelerinde yeni bir ürün, ekipman, süreç v.b. devreye alınması aşamalarında süreç yaklaşımı kullanılır. Burada devreye alınacak olan her ne olursa olsun, öncelikle girdiler toplanır. Toplanan girdilerin insan, makine, metod v.b. kullanılarak çıktıya dönüştürülmesi belirli bir sistematik dahilinde gerçekleştirilir. Bu konuda kullanılan en yaygın sistematik metodlar aşağıda belirtilmiştir:

- 1) İleri Ürün Kalite Planı ve Üretim Parçası Onay Süreci – Advanced Product Quality Plan & Production Part Approval Process (APQP&PPAP)
- 2) İstatiksel Süreç Kontrol-Statistical Process Control (SPC)
- 3) Ölçüm Sistemleri Analizi-Measurement System Analysis (MSA)

3.12.1. İleri Ürün Kalite Planı ve Üretim Parçası Onay Süreci – Advanced Product Quality Plan & Production Part Approval Process (APQP&PPAP)

İleri Ürün Kalite Planı ve Üretim Parçası Onay Süreci, yeni devreye girecek ya da değişikliğe uğrayacak bir ürünün sürecini tamamlayana kadar müşteri memnuniyetini sağlayabilmesi amacıyla gerekli adımların tanımlanmasını ve gerçekleştirilmesini sağlayan yapısal bir methodur. Bu methodun amacı gerekli tüm adımların zamanında tamamlanabilmesi için ilgili kişiler, birimler arası iletişimi kolaylaştırmaktır.

APQP&PPAP uygulamalarının başlıca faydaları şunlardır:³⁹

- . Müşteri memnuniyeti için kaynakların yönlendirilmesi
- . Gerekli değişikliklerin önceden belirlenmesi
- . Geç gelecek değişikliklerden kaçınmak
- . Kaliteli bir ürünün zamanında ve en düşük maliyetle sağlanması.

3.12.2. İstatiksel Süreç Kontrol-Statistical Process Control (SPC)

İstatistiksel Süreç Kontrol (SPC), bir süreci sürekli denetlemek ve süreçteki değişkenliği (kararsızlığı) yaratan koşulları belirlemede kullanılan metod veya gereçlerdir. SPC yaklaşımları, diğer endüstri uygulamalarından farklı olarak, üretim sürecini aktif olarak denetlemek ve değişkenliği yaratan koşulların belirlenmesi ve sürekli kontrol edilmesiyle müşteri şartlarının yerine getirilip getirilmediğine karar vermek için tasarlanmıştır.⁴⁰ Rastgele incelemelerle kaliteyi temin etme girişimlerini kullanan sistemlerin tersine, SPC, kaliteyi kontrol etmenin en etkin yoludur.

SPC, kalite ölçümü için ardışık, düzenli zaman aralıklarında toplanmış ve çoğunlukla küçük yığınlardaki birimlerden oluşan istatistiksel örnekleme zorunlu kılmaktadır. Diğer sıkça kullanılan metodlarda ölçümler, büyük rastlantısal denetlemelerdeki örneklemelemlerle elde edilir.

³⁹ Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, “**Production Part Approval Process(PPAP)** ”, 2000.

⁴⁰ Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, “**Statistical Process Control(SPC)** ”, 1995.

SPC, kaliteye, reaktif yaklaşımdan çok proaktif yaklaşır, yani organizasyondaki operatörden fabrika müdürüne kadar herkesi kalite problemlerinin sebeplerini daha iyi anlamaya ve bunlar büyük problemler haline gelmeden çözme sorumluluğu almaya teşvik eder.

SPC çalışmaları, kalite problemlerinin kaynağı olarak operatörden daha çok süreç (süreç) üzerinde odaklanır. Özellikle, kalite sorunlarının temelini oluşturmayan, kötü operatör gibi, faktörlerle de ilgilenmesine rağmen, üretim metodları, hammadde, çalışma ortamı ve malzemedeki kusurların ve sorunların belirlenmesi ve çözümlenmesini araştırır.⁴¹

3.12.3. Ölçüm Sistemleri Analizi-Measurement System Analysis (MSA)

Kaliteli üretimin başarılabilmesi için üretim girdisinin, sürecinin ve çıktısının sürekli olarak kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu kontroller, gerekli parçaların ölçülmesi ile yapılır. Ölçümler sonucunda, elde edilen veriler ile istenilen spesifikasyonların sağlanma derecesi tespit edilerek üretim süreci her aşamada kontrol altında tutulabilir. Yapılan ölçümler sonucunda spesifikasyon dışı bir durum tespit edildiğinde, bunun sebebi belirlenmeli ve sorun giderilmelidir. Ürünün belirlenen kalite düzeyinde oluşması isteniyorsa, kalite kontrol çalışmaları büyük titizlikle yürütülmelidir. Kontrol çalışmaları sırasında yapılabilecek bir yanlışlık (hatasız ürünün hatalı olarak veya hatalı ürünün hatasız olarak nitelenmesi), direkt olarak ürünün kalitesi ile ilgili kararı etkileyecektir.⁴² Bu açıklamadan da anlaşılacağı gibi, ölçümleme sonucunda güvenilir veriler elde edebilmek için ölçüm sisteminin de güvenilir olması gerekmektedir. Ölçüm sistemi operatörler ve ölçüm araçlarından oluşmaktadır. Ölçüm sistemini oluşturan operatörlerin, ölçüm yapabilme yetenekleri tespit edilmeli ve gerekli

⁴¹ . ISO-5725-1, “Statistical Methods for Quality Control-ISO Standards Handbook”, ISO, Switzerland, 1995.

⁴² DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, “Measurement System Analysis (MSA)”, 2002.

eğitimler verilmelidir. Aynı Şekilde, ölçüm araçları da ölçümlenmeleri doğru yapabilecek Şekilde ayarlanmalı ve bakımları düzenli olarak yapılmalıdır. Gerek operatörler gerekse ölçüm araçları zaman içersinde bazı nedenlerden ölçümlenen verilerde değişkenliğe neden olabilmektedirler. Bu nedenden, operatörler ve ölçüm araçlarından oluşan “ölçüm sistemi” belirli zamanlarda istatistiksel olarak analiz edilerek, güvenilirliği sağlanmalıdır. Eğer ölçüm sistemi gerektiği Şekilde incelenmez ve gerekli düzenlemeler yapılmaz ise ölçümlenmelerden elde edilen veriler kullanılarak yapılacak analizler de güvenilir sonuçlar vermeyecektir. Bu nedenle bir ölçümü etkileyebilecek (ölçümcü, ölçüm cihazı, ölçüm metodu, ölçüm yapılan ortam v.b.) tüm değişkenleri göz önüne alarak ilgili ölçüm sisteminin yeterliliğini tespit etmede kullanılacak bir metoda (**Ölçüm Sistemleri Analizi-Measurement System Analysis (MSA)**) ihtiyaç doğmuştur.

3.12.4. Süreç Yaklaşımında FMEA'nın Yeri

FMEA yukarıda bahsedilen metodların çıktılarını girdi olarak kabul edebildiği gibi, FMEA'nın çıktıları da bu metodlar da girdi olarak kullanılabilir. Örneğin SPC kullanılarak yeterliliğine onay verilmiş bir makine kullanılarak yeni devreye alınacak bir ürünün FMEA çalışması sonucunda makinenin bu ürün için yeterlilik çalışmasının (SPC) tekrarlanması gerekliliğine karar verilebilir. Benzer Şekilde yapılan bir FMEA çalışması sonucunda normalde kullanılmakta olan bir ölçüm yönteminin yeni ürün için yeterlilik çalışmasının (MSA) tekrarlanmasına karar verilebilir.

3.13. FMEA'nın Uygulanmasında Kullanılan Değişik Yöntemler

Geleneksel FMEA, potansiyel hata türlerinin ve etkilerinin hesaplanmasında ve elimizdeki kıt kaynakların sistem için daha kritik olan hatalara yönlendirmesini amaçlayan ve tüm dünyada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Fakat bu yöntemin bazı eksik yönleri

vardır. FMEA, hataların kritikliğini belirlemek için Risk Öncelik Sayısının hesaplanmasını gerektirir. RÖS; genellikle hataların şiddeti, ortaya çıkma olasılığı ve saptanabilirliklerinin çarpımıyla bulunur.

Geleneksel FMEA' nın tartışılan en kritik eksikliğinin; risklerinin tamamen farklı olmasına rağmen; şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinden benzer hatta hemen hemen aynı RÖS değerlerinin elde edilmesidir. Örnek olarak iki hata türü düşünelim ve bunların şiddet olasılık ve saptanabilirlik değerleri sırasıyla 2,3,2 ve 4,1,3 olsun. Bu iki hata türünün RÖS değeri de 12 olacaktır. Ama bu iki hata türünün riskleri aynı olmak zorunda değildir. Bu durumda; sistem için çok önemli bir hata türünü ihmal ederek kaynak ve zaman israfına neden olabiliriz. Geleneksel FMEA' nın göze çarpan bir diğer önemli eksikliği de şiddet, olasılık ve saptanabilirlik arasındaki göreceli ilişkiyi ihmal edip bu üç faktörün aynı öneme sahip olduğunu farz ederek hareket etmesidir.

Geleneksel FMEA' nın bu eksikliklerini ortadan kaldırmak için bir yaklaşım önerilebilir. Bu yaklaşımda bulanık kurallar kullanılarak potansiyel hata türleri sıralanır özellikle farklı risklere sahip olmalarına rağmen aynı RÖS değerlerine sahip hata türleri. daha sonra analiz genişletilerek şiddet, olasılık ve saptanabilirlik faktörlerine ağırlıklar verilerek durulaştırıcı dilsel terimler ve gri ilişkiler analizi kullanılır.

3.13.1. Bulanık Kural Tabanı Yaklaşımı :

Bu yaklaşımın amacı; şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak yararlı bir yöntem sunmak değil de RÖS değerinin hesaplanmasında geleneksel yöntemin kullanılmasından kaçınmaktır. Bu da uzmanlardan bilgiler toplanarak ve bu bilgileri entegre ederek öznel bir sıralama yöntemi geliştirilerek başarılmıştır(Pillay & Wang, 2002).⁴³

Bu yöntemde ilk adım; şiddet, olasılık ve saptanabilirlik kategorileri için üyelik fonksiyonlarının belirlenmesidir. Üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra FMEA süreci geleneksel FMEA' da olduğu gibi beyin fırtınası teknikleri kullanılarak devam eder. Her bir hata türü için dilsel değişkenleri temsil etmek üzere dilsel terimler kullanılır. Daha sonra bulanık kural tabanı kullanılarak dilsel değişkenler, risk önceliklerini temsil eden dilsel terimlere dönüştürülür. Bu dilsel terimler sistem veya bileşenler için tanımlanan potansiyel hata türlerinin risk sıralamasını temsil eder. Sıralama işlemi tamamlandıktan sonra, süreç geleneksel FMEA' da olduğu gibi düzeltici faaliyetlerle son bulur.

⁴³ Pillay, A. , Wang, J. , ‘‘Reliability Engineering And System Safety: Modified Failure Mode And Effects Analysis Using Approximate Reasoning’’, Vol.79 , No.1 , 2003

3.13.1.1. Bulanık Üyelik Fonksiyonu :

Bulanık Üyelik Fonksiyonu her üç değişken içinde uzmanlar kullanılarak geliştirilir. Bu uzmanlar, gerçekçi ve tarafsız üyelik fonksiyonlarının oluşturulması için sistemi yeterince tanıyan kişiler arasından seçilmelidirler(Kuusela&Spence&Kanto, 1998).

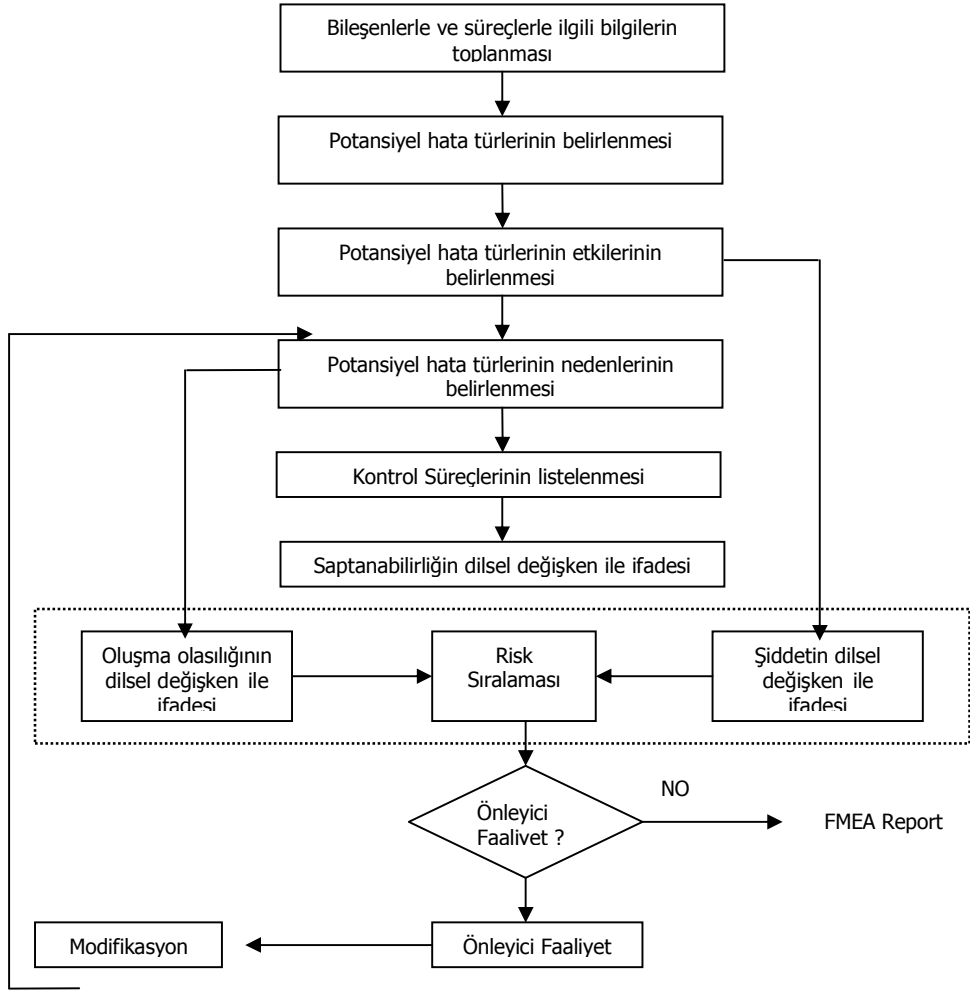
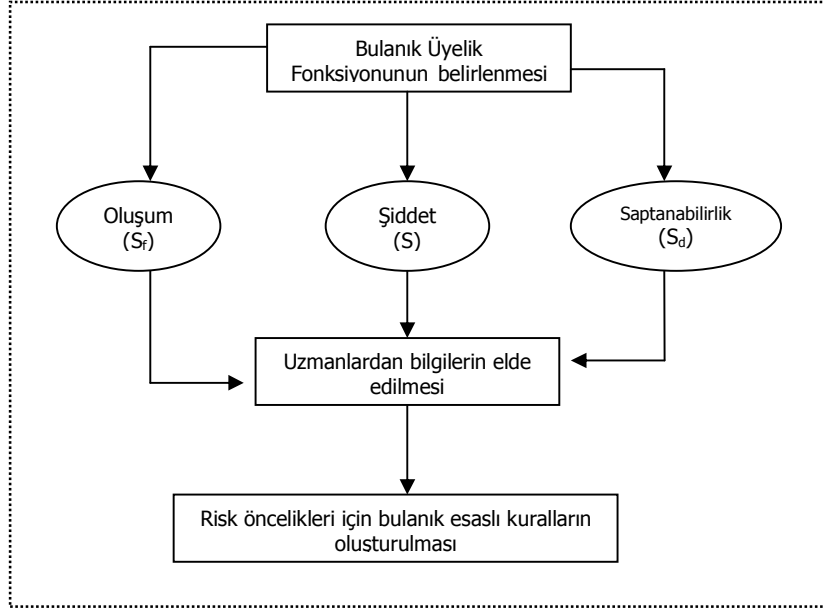
Seçilen uzmanları kullanarak Bulanık kümeler ve Bulanık Üyelik Fonksiyonu şöyle oluşturulur. A; X evrensel kümesinde dilsel değişkenlerle ilgili dilsel terimleri temsil eden bulanık bir küme olsun. n tane uzmana bazı $x \in X$ ler için $x \in A$ 'ya dahildir önermesinin doğru veya yanlış olduğunu incelemek için sorular soralım. Verilen $x \in X$ 'ler için $a_i(x)$ uzman i 'nin cevabını belirtsin ve önerme; uzman i tarafından doğru olarak nitelendirirse $a_i(x)=1$, yanlış olarak nitelendirilirse $a_i(x)=0$ olarak farz edilir. Bu durumda aşağıdaki üyelik fonksiyonu oluşur.

$$A(x) = \frac{\sum_{i=1}^n a_i(x)}{n} \quad 1$$

Uzmanların yetenek ve becerilerinin farklı olduğu durumlarda bu Eşitlik 1 aşağıdaki şekli alır

$$A(x) = \sum_{i=1}^n C_i a_i(x) \quad 2$$

$$\sum_{i=1}^n C_i = 1 \quad \text{olmak üzere}$$



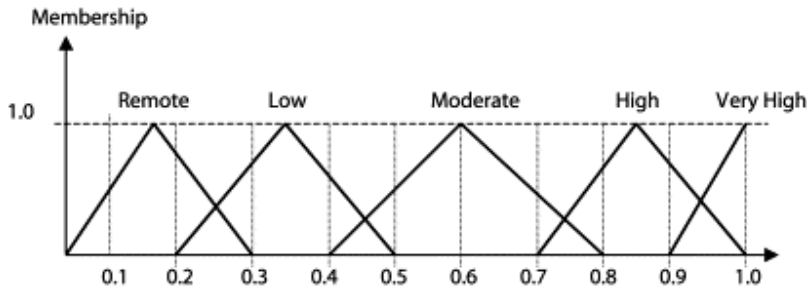
Şekil 3.8. Bulanık Kural Tabanı Yaklaşımının Akış Diyagramı

Bulanık esaslı kurallarda, dilsel değişkenler olarak ortaya çıkma olasılığı, şiddet ve saptanabilirlik tanımlanır. Her bir değişken beş farklı dilsel terimle ifade edilebilir. Bunlar; Çok Küçük (Remote), Küçük (Low), Orta (Moderate), Fazla (High), Çok Fazla (Very High)' dir. Bu terimlerin yorumları Tablo 3.4' de görülmektedir. Eşitlik 2 ve bu bilgiler kullanılarak Şekil 3.9 çizilmiştir.

Tablo 3.4. Dilsel Terimlerin Yorumları

Dilsel değişken	Olasılık	Şiddet	Saptanabilirlik
Çok Küçük	Daha önce gerçekleşmemiş	Hatanın etkisi fark edilmeyecek düzeydedir.	En yüksek keşfedilebilirliğe sahip
Küçük	Az sayıda gerçekleşmiş	Çok küçük bir tatminsizlik vardır. Müşteri üründeki hatanın azda olsa farkına varacaktır.	Yüksek keşfedilebilirliğe sahip
Orta	Orta sıklıkta gerçekleşmiş	Müşteri hatadan oldukça etkilenmiş olacaktır. Orta derecede bir tatminsizlik vardır.	Orta yüksek keşfedilebilirliğe sahip
Yüksek	Yüksek sayıda gerçekleşmiş	Müşteri hatadan yüksek derecede etkilenmiştir. Ürünün düzeltilmesi mümkün değildir.	Çok düşük keşfedilebilirliğe sahip
Çok yüksek	Çok yüksek sayıda gerçekleşmiş	Hata çok yüksek düzeyde meydana	En düşük keşfedilebilirliğe sahip

		gelmiştir	
--	--	-----------	--



Çok Küçük: Remote, Küçük: Low, Orta: Moderate, Fazla: High, Çok Fazla: Very High,
Membership: Üyelik

Şekil 3.9 : Dilsel Terimlerin Üyelik Fonksiyonu

Pillay, A. , Wang, J. , ‘‘Reliability Engineering And System Safety: Modified Failure Mode And Effects Analysis Using Approximate Reasoning’’, Vol.79 , No.1 , 2003

3.13.1.2. Bulanık Esaslı Kuralların Geliştirilmesi

Bulanık Mantık sistemi; insanların bilgilerinden oluşturulan bilgi esaslı veya kural esaslı bulanık EĞER-İSE kuralları formatındaki yapılarıdır.⁴⁴ EĞER-İSE şeklindeki kuralların EĞER ile İSE kelimeleri arasında kalan kısımlara öncül kısım ve İSE kelimesinden sonra olan kısma da soncul kısım veya kurak çıkarımı adı verilir.Genel olarak, öncül kısımda olayla ilgili koşulları içeren deyişler vardır. Soncul kısım ise daha ziyade kontrol ile ilgilidir.⁴⁵ Öncül kısım olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinden oluşur. Soncul kısım ise risk önceliği dilsel değişkenini tanımlayan dilsel terimler Çok Az, Az, Orta, Yüksek, Çok Yüksek’ den oluşur.

FMEA için bulanık kural tabanı belirlemek için üç kategoriye yani şiddet, olasılık ve saptanabilirliği temsil eden dilsel terimlerin kombinasyonları uzmanlara sorularak onların risk önceliğini değerlendirmeleri istenir. Örnek verecek olursak;

⁴⁴ Wang, L.X. , ‘‘A Course In Fuzzy Systems And Control,’’ , New Jersey: Prentice-Hall,1997.

⁴⁵ Şen, Z. , ‘‘Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri’’ , Bilge Kültür Sanat, İstanbul,2001.

“ Eğer olasılık çok küçük, şiddet çok küçük ve saptanabilirlik küçük ise risk önceliği çok azdır.”

Bu şekilde üç dilsel değişken ve beş dilsel terim olduğu için 125 tane kural yazılır. Fakat bu kuraların bazıları kural sayısını azaltmak için birleştirilebilir.

3.13.1.3. Risk Önceliği Sıralaması

Çok sayıda durulaştırma yöntemi geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanı Ağırlıklı Ortalamaların En Büyüğü (WMOM) yöntemidir. Bu yöntemde, her bir bulanık sonucun gerçek değerini ağırlıklandırılarak bulunan maksimum olasılık değerini ortalaması alınır.

FMEA çıktısının dilsel değerini olan risk önceliğinin Çok Az, Az, Orta, Yüksek, Çok Yüksek dilsel terimlerinden oluştuğunu varsayalım. Bu terimlerin destek değerleri her bir uzman tarafından verilen destek değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak bulunur.⁴⁶ Farz edelim ki bu dilsel terimlerin destek değerleri rasgele seçilmiş 1-10 skalasından hesaplınsın ve şöyle olsun:

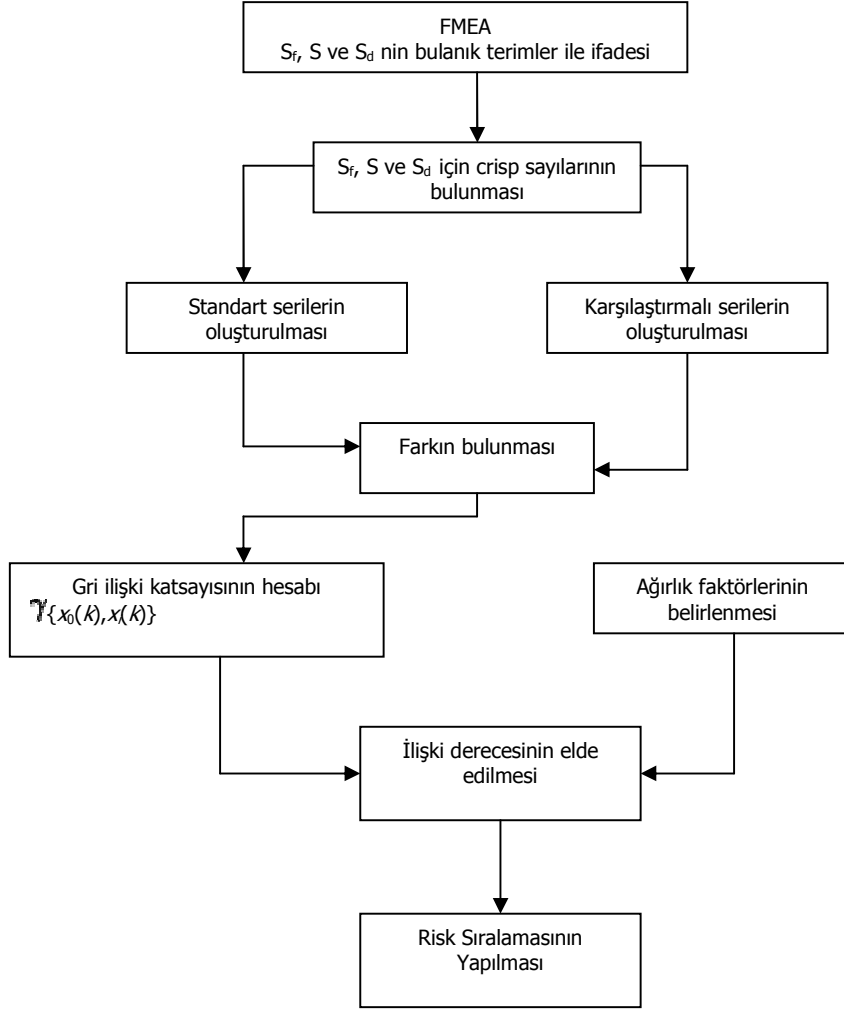
Çok Az: 0,055 ; Az:0,461 ; Orta: 0,911 ; Yüksek: 2,041 ; Çok Yüksek: 7,111 .

FMEA da tanımlanan potansiyel hata türlerinin şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerleri sırasıyla Çok Küçük, Çok Küçük ve Orta olsun. Kural tabanına göre belirlenen risk önceliği Çok Az, 0,06 Az ve destek değerleri sırasıyla 0,055 ve 0,461' dir. WMOM yöntemi kullanılarak ağırlıklı ortalama(Z) bu hata türü için hesaplanır.

$$Z = (1,0)*(0,055) + (0,06)*(0,461) / (1,0+0,06) = 0,0780$$

FMEA' daki diğer hata türleri içinde bu değerler hesaplanır ve hata türlerinin sıralaması yapılır. Sonucu en yüksek çıkan hata türünün risk önceliği de daha fazladır.

⁴⁶ Wang, L.X. , ‘‘A Course In Fuzzy Systems And Control,’’ , New Jersey: Prentice-Hall,1997.



Şekil 3.10. Gri Teori Yaklaşımı Akış Diyagramı

Deng, J. , "Introduction To Grey System Theory" , J Grey Syst, 1989.

3.13.2. Gri Teori Yaklaşımı

Gri sistem teorisi Deng tarafında 1982 yılında ortaya atılmış ve geliştirilmiştir. Gri sistemlerde operasyonlarla ve davranışlarla ilgili bilgiler ne tam olarak bilinmektedir ne de tam olarak bilinmemektedir. Gri teori; sistem davranışlarını, ilişkiler analizini ve modellendirmeyi kullanarak tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca yeterli olmayan bilgilerden yararlanarak karar verme süreciyle de ilgilenir.

Gri teori yaklaşımında ilk adım; şiddet, olasılık ve saptanabilirlik için üyelik fonksiyonun oluşturulmasıdır. Her bir dilsel değişken beş dilsel terimle ifade edilebilir. Beyin fırtınası yöntemiyle tüm olası hata türleri ve nedenleri belirlendikten sonra şiddet olasılık ve saptanabilirlik faktörleri dilsel terimlerle ifade edilir. Bir sonraki adım herbir dilsel terimi ifade eden kesin sayılarının bulunmasıdır. Daha sonra karşılaştırmalı seriler ve standart seriler oluşturulur ve bunlar bir matris halinde gösterilir. Bu iki matrisin farkı bulunur ve bu fark gri ilişki katsayısını bulmak için kullanılır. Gri ilişki katsayısı ve dilsel değişkenlerin ağırlıklı faktörleri gri ilişki derecesini hesaplamak için kullanılır. Bu derece FMEA' daki her bir hata türünün sıralamasını verir.

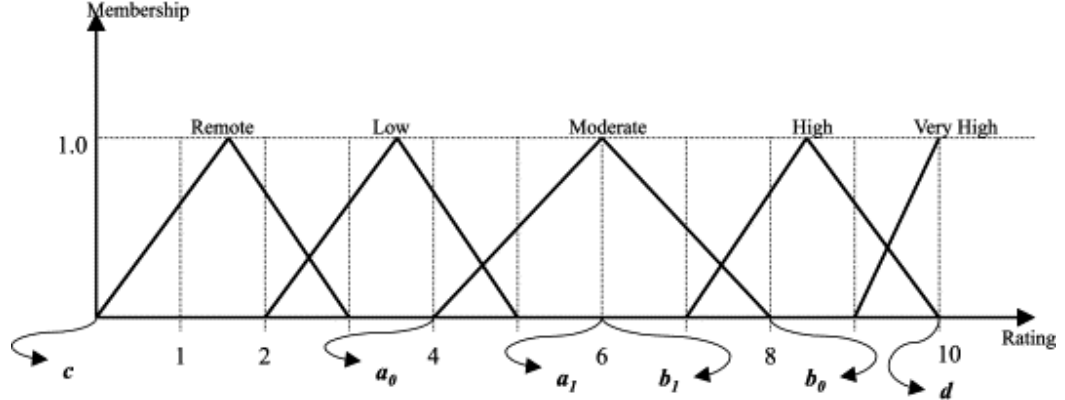
Chen ve Klien bulanık kümelerin kesin sayısını bulmak için bir yöntem geliştirmişlerdir ve bu yöntem Eşitlik 3 de görülmektedir.

$$K(x) = \frac{\sum_{i=0}^n (b_i - c)}{\sum_{i=0}^n (b_i - c) - \sum_{i=0}^n (a_i - d)}$$

3

Örnekte; dilsel değişken olarak tanımlanan Orta (Moderate)' dan kesin sayısının elde edilmesi görülmektedir. c ve d değerleri bütün dilsel değişkenler için aynı kalmaktadır. a_0 ve b_0 değerleri bütün dilsel değişkenleri üyelik fonksiyonunun 0 olduğu noktadaki limitidir. Aynı şekilde a_1 ve b_1 değerlerinde bütün dilsel değişkenler için üyelik fonksiyonunun 1 olduğu noktadaki limit değeridir.

$$K(x) = \frac{[b_0 - c] + [b_1 - c]}{\{[b_0 - c] + [b_1 - c]\} - \{[a_0 - d] + [a_1 - d]\}} = \frac{[8 - 0] + [6 - 0]}{\{[8 - 0] + [6 - 0]\} - \{[4 - 10] + [6 - 10]\}} = 0.583$$



Çok Küçük: Remote, Küçük: Low, Orta: Moderate, Fazla: High, Çok Fazla: Very High, Membership: Üyelik

Şekil 3.11. Dilsel Değişken Orta (Moderate)'nın Durulaştırılması

Pillay, A. , Wang, J. , 'Reliability Engineering And System Safety: Modified Failure Mode And Effects Analysis Using Approximate Reasoning', Vol.79 , No.1 , 2003

3.13.2.1. Karşılaştırmalı Seriler :

n tane bileşenden veya karar faktöründen oluşan $x'_i = (x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(k)) \in X$, ve $x_i(k)$ ' nin x_i ' nin k'inci faktörü olduğu bilgisini ihtive eden serilerdir. Karşılaştırmalı seriler; çeşitli dilsel terimlerle karar faktörlerini yansıtır. Karşılaştırmalı seriler matrix şeklinde aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(k) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(k) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_n(1) & x_n(2) & \dots & x_n(k) \end{bmatrix}$$

Bu matrix hata türlerinin $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ hata türlerini tanımlayan dilsel değişkenleri $\{x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(k)\}$, $\{x_2(1), x_2(2), \dots, x_2(k)\}$, etc. gösterir.

FMEA uygulamasında $x_i(k)$ değerleri kesin değerleriyle ifade edilir. Örnek olarak üç hata türünü düşünelim ve bu hata türlerinin tanımlayıcı bilgileri aşağıdaki gibi olsun.

Hata Türü	Oluşma Olasılığı	Şiddet	Saptanabilirlik
A	Remote(0,196)	Remote(0,196) Very	Low(0,370)
B	Moderate(0,583)	High(0,952)	High(0,804) Very
C	Remote(0,196)	Low(0,370)	High(0,952)

Çok Küçük: Remote, Küçük: Low, Orta: Moderate, Fazla: High, Çok Fazla: Very High, Membership: Üyelik

Bu değerlerden karşılaştırmalı seri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Remote} & \text{Remote} & \text{Low} \\ \text{Moderate} & \text{Very High} & \text{High} \\ \text{Remote} & \text{Low} & \text{Very High} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.196 & 0.196 & 0.370 \\ 0.583 & 0.952 & 0.804 \\ 0.196 & 0.370 & 0.952 \end{bmatrix}$$

Çok Küçük: Remote, Küçük: Low, Orta: Moderate, Fazla: High, Çok Fazla: Very High, Membership: Üyelik

3.13.2.2. Standart Seriler

Standart Seriler ideal düzeni yani istenilen düzeni gösteren amaç serileridir. FMEA çalışmalarında karar faktörleri için oluşturulan standart seriler en küçük değerlerden oluşur. ($x_0=[x_0(1),x_0(2),\dots,x_0(k)]=[Remote,Remote,\dots,Remote]$). Bu karşılaştırmalı serilerde olduğu gibi matrix form şeklinde gösterilebilir:

$$\begin{bmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Remote} & \text{Remote} & \text{Remote} \\ \text{Remote} & \text{Remote} & \text{Remote} \\ \text{Remote} & \text{Remote} & \text{Remote} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.196 & 0.196 & 0.196 \\ 0.196 & 0.196 & 0.196 \\ 0.196 & 0.196 & 0.196 \end{bmatrix}$$

Çok Küçük: Remote, Küçük: Low, Orta: Moderate, Fazla: High, Çok Fazla: Very High, Membership: Üyelik

3.13.2.3. Fark

Karşılaştırmalı seriler ile Standart Seriler arasındaki Fark, D_0 , aşağıdaki gibi matrix form şeklinde hesaplanır.

$$D_0 = \begin{bmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \Delta_{01}(3) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_m(1) & \dots & \Delta_m(3) \end{bmatrix}$$

$\Delta_{0j}(k) = \|x_0(k) - x_i(k)\|$ ve $x_0(k)$ Standard Seri ; $x_i(k)$ Karşılaştırmalı Seri

$$D_0 = \begin{bmatrix} \|0.196 - 0.196\| & \|0.196 - 0.196\| & \|0.196 - 0.370\| \\ \|0.196 - 0.583\| & \|0.196 - 0.952\| & \|0.196 - 0.804\| \\ \|0.196 - 0.196\| & \|0.196 - 0.370\| & \|0.196 - 0.952\| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.174 \\ 0.387 & 0.756 & 0.608 \\ 0 & 0.174 & 0.756 \end{bmatrix}$$

3.13.2.4. Gri İlişki Katsayısı

Gri İlişki Katsayısı, $\mathcal{T}\{x_0(k), x_i(k)\}$, aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\mathcal{Y}(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad 4$$

$x_0(k)$; standart serideki min veya max değer; $x_i(k)$ karşılaştırmalı serideki min veya max değer ve $\zeta \in (0,1)$ tanımlayıcıdır. $\zeta \in (0,1)$ önceliği değiştirmeden riskin ilişki değerini etkiler. $\zeta=0,5$ kabul edelim ve hata türü A için eşitliği kullanarak oluşum, şiddet, ve saptanabilirlik faktörlerinin gri ilişki katsayısı hesaplanabilir:

$$Y_f = \frac{0 + [(0.5)(0.756)]}{0 + [(0.5)(0.756)]} = 1.000$$

$$Y_e = \frac{0 + [(0.5)(0.756)]}{0 + [(0.5)(0.756)]} = 1.000$$

$$Y_d = \frac{0 + [(0.5)(0.756)]}{0.174 + [(0.5)(0.756)]} = 0.684$$

Aynı şekilde B ve C için de hesaplanmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Hata Türü	Oluşma Olasılığı	Şiddet	Saptanabilirlik
A	1	1	0,684
B	0,494	0,333	0,383
C	1	0,684	0,333

3.13.2.5. Gri İlişki

Bir sonraki adım, karar faktörlerinin ağırlıklı katsayıları düşünülerek, hata türleri arasındaki gri ilişkinin derecesi elde edilmesidir. Çalışmanın amacına ve eldeki verilerin güvenilirliğine göre dilsel değişkenler için ağırlık katsayısı (β_k) değeri belirlenir.

$$\sum_{k=1}^n \beta_k = 1$$

Ağırlık katsayısının hata türlerinin sıralanmasında çok büyük etkisi vardır. Bu nedenle FMEA çalışmasında yer alan uzmanlardan tarafında çok dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Gri ilişki derecesi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\Gamma(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^n \beta_k \gamma \{x_i(k), x_j(k)\} \quad 5$$

Örnekteki ; oluşum β_o , şiddet β_s ve saptanabilirlik β_d değerleri 0.4, 0.4 and 0.2 olur ise hata türlerinin gri ilişki dereceleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\Gamma_A = \{(0.4)(1) + [(0.4)(1)] + [(0.2)(0.684)]\} = 0.9368$$

$$\Gamma_B = \{(0.4)(0,494) + [(0.4)(0,333)] + [(0.2)(0.383)]\} = 0.4074$$

$$\Gamma_C = \{(0.4)(1) + [(0.4)(0,684)] + [(0.2)(0.333)]\} = 0.7402$$

FMEA çalışmasındaki hata türleri öncelikleri gri ilişki derecesine göre yapılır. Gri ilişki derecesi en küçük olan hata türü en yüksek önceliğe sahiptir. Buna göre Hata türü B en yüksek önceliğe sahiptir. Daha sonra C ve en son A gelir.

4. SÜREÇ FMEA

4.1. Süreç FMEA'nın Genel Tanımı

Süreç FMEA analitik bir teknik olup, süreç hatalarından etkilenebilen ürünleri belirler, ürünlerdeki bu hataların müşteriye hangi yönde etkileyebileceğini araştırır, hata kaynağının hangi üretim ve montaj operasyonunda olduğunu belirler, arıza ve hata şartlarını önlemek veya açığa çıkarmak amacıyla, incelemeye alınması gereken süreç değişkenlerini belirler.⁴⁷

Düzeltilici önlemlerin öncelik sırasını belirlemek için, olasılık (Hata Tekrarlanma Olasılığı), şiddet (Hataların Müşteri Üzerine Etkisi) keşfetme (Hataların Müşteriye Ulaşmadan Önce Yakalanma Olasılığı) olasılık faktörlerini kullanarak, bir Risk Öncelik

⁴⁷ Uğur, Naci, “Tasarımda ve İmalat Montaj Süreçlerinde Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA)”, Ankara : KOSGEB Eğitim Merkezi Yayınları, s.16, 1997.

Gösterge Puanı (RÖS) belirlenir. Yeni veya eski bir sürecin sistematik bir şekilde gözden geçirilmesi ve analiz edilmesi, yeni bir model veya parça süreci ile ilgili sorunların çözülmesi veya kontrol altında tutulmasını sağlar.

Bir süreç FMEA üretimden önce hazırlanır ve üretim sırasında doğabilecek tahmin edilen olası hataların ve bunların nedenlerinin liste halinde dökümünü içerir.

Süreç FMEA, yeni makine veya araç süreçlerinin de geliştirilmesinde yardımcı olur. Yöntem aynıdır, dizayn edilen makine ve aracı ürün olarak kabul etmek gerekir.

Süreç FMEA ile, üretim ve montaj hatalarından korunma önlemleri belirlenir ve hatalı parçaların müşteriye gönderilmesi engellenir. Hedef, bir ürün konstrüksiyon özelliklerinin, planlanan üretim ve montaj süreçlerinin analiz edilmesi ve bununla birlikte bitmiş ürünün müşteri beklenti ve gereksinmelerini karşılama olmasıdır. Ayrıca Süreç FMEA, ürünün süreçlerindeki hata nedenlerini belirleyen analitik bir tekniktir, olası üretim veya montaj süreçlerindeki hata nedenlerini belirler ve bunların önceden saptanıp önlenmesini, kontrol altında tutulmasını sağlar.

Bu teknik oluşum ve bu oluşumun yakalama olasılığını şiddet (hatanın müşteri üzerine etkisi) kriteri ile birlikte kullanılır ve RÖS sayısını oluşturur. Böylece, bu sayının büyüklüğüne göre düzeltici önlemler önem sırasına göre alınır. Sistemli bir gözden geçirme ile, yeni bir ürünün, daha planlama aşamasında ve üretim aşamalarında, meydana gelebilecek hatalara da çözüm bulunabilir.⁴⁸

Süreç FMEA;

- Olası süreç hatalarını gösteren,
 - Müşteri üzerine olası etkileri değerlendiren,
 - Üretim ve montaj süreçlerindeki olası nedenleri gösteren
 - Önemli süreç büyüklüklerini görünür duruma getiren
- analitik bir metottur.

⁴⁸Uğur, Naci, “Tasarımda ve İmalat Montaj Süreçlerinde Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA)”, Ankara : KOSGEB Eğitim Merkezi Yayınları, s.17, 1997.

Süreç FMEA bütün yeni ürünlere/parçalara, değişiklik yapılan ürünlere, yeni üretim teknolojilerinin uygulandığı bilinen ürünlere/parçalara ait üretim süreçlerini kapsar.

4.2.Süreç FMEA Çalışma Ekibinin Oluşumu

Süreç FMEA çalışması, üretim mühendisliği (teknolojist) tarafından üretim, kalite, kalite güvence, mühendislik bölümleri ve yan sanayicilerin iş birliği ile yürütülerek son süreç onayından önce tamamlanmalıdır.

Süreç FMEA çalışması yapılırken, benzer süreçlerden ve ekipmanlardan sağlanan bilgiler alınmalıdır. Süreç FMEA, üretim süreçlerinin ön hazırlık çalışmaları esnasında veya öncesinde başlar ve bağımsız parçalardan başlayarak, tüm montaja kadar olan bütün üretim çalışmalarını içerir. Süreç FMEA, ürünün tasarlandığı şekilde tasarım amaçlarını karşılayacağını varsayar. Tasarım zayıflığı nedeniyle oluşabilecek olası hatalar Süreç FMEA'yı kapsamaz. Bunların etkileri ve önlemleri, Tasarım FMEA'nın kapsamı içerisindedir. Bir Süreç FMEA, süreçteki zayıflıkların üstesinden gelmek için ürün tasarım değişikliklerine güvenmez.⁴⁹

Fakat, son ürünün müşteri gereksinimlerini ve beklentilerini daha çok karşılaması için, planlanan montaj veya sürecin, ürünün tasarım özelliklerini sağladığı kabul edilir.

Süreç FMEA'nın yapılabilmesi için gerekli çalışma grubu şu kişilerden oluşur: Ekip lideri, teknolojist, sürekli katılımcılar, diğer olası katılımcılar. Çalışma grubu elemanlarının sorumlulukları ve nitelikleri şöyledir;

Ekip Lideri:

İncelenecek süreçten sorumlu olan kişidir. Sözkonusu sürecin kurulacağı yerde toplantılar düzenler ve değişik bölümlerden uzmanların katılımını sağlar.

Ekip lideri, Süreç FMEA için aşağıdaki bilgi ve belgelerin mümkün olduğunca hazırlanmasından sorumludur:

- Parça/ürünün tanımı (şartnamelere uygun olarak)

⁴⁹ Çiğdem, S., "Hata Türü ve Etkileri Analizi", 2.b.,Çayırova:Koç Holding Yayını,s.55,1994.

Montaj hattı/sürecin doğal toleranslarının kontrol sınırları dışındaki redler/problemlerle ilişkili keşfedilmiş hata verileri,

- Hata türü sınıflandırılması
- Süreç ve montaj hattı akış şemaları ve açıklamaları
- Süreç yerleşme planı
- Teknik resimler
- Muayene planı
- Yeni bir parça numunesi
- Kusurlu bir parça numunesi⁵⁰

Teknolojist:

Sürecin tamamını çok iyi bilen, en yetkili uzman kişidir, süreci tasarlayandır.

Sürekli Katılımcılar aşağıdaki elemanlardan oluşur.

- Tasarımcı:Tasarımcı, müşteri isteklerinin tamamını karşılamalıdır. Tasarımcının rolü, müşterinin sözcüsü durumunda olmasıdır. Bu nedenle, tasarımcı ekip içerisinde müşteriye temsil eder.
- Süreç Kalite Yöneticisi:Süreçleri ve üretimi çok iyi bilir, ayrıca üretimde geçmişte yaşanan sorunları bilmesi, geçmiş verileri değerlendirebilmesi esas aranan özellikleridir.
- Üretim Yöneticisi:Üretimden sorumlu kişidir. Süreç aşamaları ve süreç hakkında bilgi verir.
- Yan Sanayiciler (Satın Alma Yetkilisi):Süreç faaliyetinde, olası hataları tahmin etmek için yan sanayicilerin fikir ve görüşlerine ihtiyaç olabilir. Yan sanayicilerinin katılmadığı ekip çalışmalarına, onların temsilcisi olarak satın alma sorumlusu katılır.

⁵⁰ KOGEM, “FMEA Seminer Notları”, 1994.

- Bakım Yöneticisi:Yalnızca arıza çıktığı zaman, arızayı gidermeyen, aynı zamanda planlı bir önleyici bakım da yapan, süreci ve zayıf yerlerini çok iyi bilen bakım grubunun yöneticisidir.
- Diğer Olası Katılımcı (İncelenen parça/süreçe göre):

Servis Yetkilisi:

Servis yetkilisi çalışma grubu içinde yer alır. Geçmişte oluşan hatalar, istekler ve beklentiler konusunda ekip çalışmasına yardım eder.

4.3. FMEA Gerçekleştirme Aşamaları, Süreç FMEA Prosedürü

Süreç FMEA çalışmasına başlamadan önce, üretim sürecinin hangi parçasının göz önüne alınacağı tam olarak kararlaştırılır. Verilen bir ürün veya parça için tüm üretim sürecini kapsayacak şekilde FMEA çalışması yapmak gerekmez. Diğer taraftan, bir ürünün üretim süreci olarak genelde, değişik makineler ile işlenen, şekillendirme, montaj, muayene gibi, hammadde durumundan, tamamlanmış ürün oluncaya kadar geçen tüm aşamalar ele alınır.⁵¹

Bir Süreç FMEA çalışmasının bu kadar geniş faaliyet alanlarını kapsamasını olanaksızdır. Söz konusu üretim süreci , her birimin ürüne belirli bir özellik verdiği bağımsız temel faaliyetlere bölünür.⁵²

Eğer ürün, sistem veya ana grup ise, onu küçük parçalara bölmek gerekir. Yalnızca bu yolla, üretim süreci için arzu edilen ayrıntı derecesine ulaşmak mümkündür. Hata ,

⁵¹ Çiğdem, S., “Hata Türü ve Etkileri Analizi”, 2.b.Çayırova:Koç Holding Yayını, s.84, 1994.

⁵² OYAK-RENAULT, “Hata Türü ve Etkileri Analizi”, İstanbul, 1990.

sürecin bir uyumsuzluğunu gösterir. Bu ayrıntı derecesi ile, farklı süreçler için değişik çözümler belirlenir. Seçilmiş üretim süreçlerin uygunluğu sürekli olarak yeniden değerlendirilerek, gereksinme durumunda, iyileştirmeler anında başlatılır.

Süreç FMEA'yı gerçekleştirirken izlenen yollar sekiz aşama olup, bu aşamalar;

Birinci aşama; Süreç fonksiyonlarını içerir.

İkinci aşama; Hata türlerini içerir.

Üçüncü aşama; Hata türünün etkilerini içerir.

Dördüncü aşama; Nedenlerin tanımlanmasını içerir.

Beşinci aşama; Kontrol önlemlerinin tanımlanmasını içerir.

Altıncı aşama; Puanlandırma sistemini içerir.

Yedinci aşama; Risk öncelik göstergesini içerir.

Sekizinci aşama; Önerilen iyileştirmeleri içerir.

4.4.Süreç Aşamaları

Süreç FMEA, sürecin akış şeması ile başlamalıdır. Bu akış şeması her bir işletmede üretilecek olan ürün özelliklerini belirler. Bazı etkilerin belirlenmesi ve bazı şiddet(hatanın müşteri üzerine etkisi) değerlerinin tahmini, sorumlu tasarım mühendisinden veya eğer elde var ise ilgili tasarım FMEA çalışmasından sağlanır.

Süreçde bir çok işlem var ise ve farklı olası hata türlerinin sahip iseler, bu işlemlerin her birini ayrı süreçler gibi listelemek gerekir.

4.5.Hata Türünün Tanımlanması

Hata, bir süreç veya işlemin belirlenen hedeflere göre tamamlanmaması veya tasarıma uygunluğunun sağlanamaması şeklinde tanımlanır.

Süreç FMEA'da yalnızca süreçten kaynaklanan hatalar incelenir. (Bunun anlamı, tasarım ile ilgili olarak ortaya çıkabilecek kritik durumlar üzerinde çalışmanın mümkün

olmayacağı demek değildir).Ürünün yalnızca müşteriye teslim edilmeden hemen önce ortaya çıkabilecek hatalar değil, ömür boyunca çıkabilecek hatalar da göz önüne alınır.

Hata Türleri:

Her bir süreç fonksiyonu için, bütün olası hata türleri ortaya çıkma olasılığından bağımsız olarak sıralanır. Hata, sürecin uygunsuzluğu ve sürecin belirlenen hedefleri karşılamıyor olmasıdır. Olası hata türü, bir parça veya grubun belirlenen mühendislik gereksinimleri veya özel süreç gereksinimlerini karşılamada başarısız olabileceği bir tavır olarak tanımlanır.

Bir sonraki işlemdeki olası hata türü ile yakından ilişkisi olan bir neden veya bir önceki işlemdeki hata türü ile yakından ilişkisi olan bir sonuç olabilir. Bununla beraber, FMEA'nın hazırlanmasında, gelen parça(ların)/malzeme(lerin) doğru olduğu var sayılır.⁵³

Belirli bir işlemde, bir parça veya sürecin fonksiyonları yönünden olası bütün hata türleri liste halinde yazılır. Varsayım olarak, hatanın olabileceği ancak mutlaka olmasının gerekmediği kabul edilir.

Genelde, süreç hata türleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Üretim	:Boyutsal (tolerans dışı)
Montaj	:Eksik parça, yanlış montaj
Test/Muayene	:Kötü parça kabul edilmesi

Üretilen parçanın amacını veya fonksiyonunu belirlemek için, Tasarım FMEA ile benzer veya aynı parçaların süreçlerdeki geçmiş problemler gözden geçirilir. Ayrıca, garanti verileri, saha servis verileri gibi yararlı bilgi kaynakları gözden geçirilir, bilinen tüm geçmiş hata türleri belirlenir.

Hata türleri, aşağıdaki kademelerin herhangi birinde meydana gelebilir;

- Prosesleme (presle şekillendirme, makinede işleme, yüzey kaplama, kaynak, ısıl işlem, v.s.)
- Montaj

⁵³ Ford Motor Company, "Failure Mode and Effects Analysis Handbook" , Ford Motor Company, Dearborn, 2000

- Muayene/test(üretim sürecinin bütün aşamalarında)
- Elden geçirme, taşıma, depolama.

Üretim süreci hata türlerini listelemeden önce, belirtilen problemlerin pek çoğunun bir Tasarım FMEA’da ürün hatalarının nedenleri olarak tanımlanabileceğine dikkat edilmelidir.

4.6.Etkinin (Sonucun) Tanımlanması

Hatanın sonuçları, hata türünün müşteri (ler) üzerindeki etkileri olarak tanımlanır. Hatanın olası etkisi değerlendirilirken, her bir hata türünü sonucu olan etki(ler) , bir sonraki işlemde, daha sonraki aşamalarda parça/ürünü kullananlar veya son müşteri tarafından dikkat çeken veya yaşanan olumsuzluklardır.

Hatanın sonuçları, müşteri(lerin) nelere dikkat edecekleri veya başlarına neler geleceği yönünden tanımlanır. Son kullanıcı için sonuçlar , daima ürün veya sistem performansı yönünden göz önüne alınır. Eğer müşteri ile tanımlanan bir sonraki işlem ise , sonuçlar süreç performansı olarak ele alınır.

Eğer hatanın sonucu, ürünün emniyetli bir şekilde kullanımını etkileyecek veya yasalarla uygunsuzluk oluşturacak ise, bu husus aynı şekilde belirtilmelidir.

Üretim sürecindeki hataların nedenleri nasıl ki önceki işlemlerde başlıyorsa, hatanın ürün üzerindeki etkileri(sonuçları) de sonraki işlemlerde görülür.

Ürün hata türlerinin bazıları , Tasarım FMEA tarafından diğer yöntemler ile belirlenenlerin aynısı olabilir. Ürün mühendisi ile tasarımcı, iyileştirilmeleri önerir iken her ne kadar farklı yollar izleseler ise de , her teknik arasında belirli miktarlarda çakışmalar olduğu gerçeğinden hareket ederek Tasarım, Üretim ve Kalite Güvence arasında yakın işbirliği sağlar.

Hata türünün etkileri ikiye ayrılır;

- a) Son Müşteri (Kullanıcı) Üzerindeki Etkisi
-

Her bir hata türünün neden olabileceği tüm olası hataları ve bunların sonuçları listelenir;

- Ürünün çalışması durumunda,
 - Ürünün kullanılması durumunda,
 - Standartlara/Şartnamelere uygunluğu,
 - b) Yan Sanayi ve Ara Müşteri Üzerindeki Etkisi
- Aşağıdaki etkilere (sonuçlara) neden olan bütün hasarlar göz önüne alınacaktır;
- İç hatalar (ıskartalar, yeniden işleme)
 - Dış hatalar (garanti, geri iade, ıskonto, satış kayıpları, v.b.)

4.7. Nedenlerin Tanımlanması

Bir hata türünün nedeni, bir üretim veya montaj yetersizliğidir. Hata türünün nedeni, üretim değişikliğinin kaynağı ve bir sürecin hata türüne nasıl neden olacağını tanımlanması ile belirtilir. Hatanın olası nedeni olarak, düzeltilebilecek veya kontrol edilebilecek özellikler yönünden hata türünün nasıl oluşabileceği tanımlar gösterilebilir.

Belirlenen her bir üretim süreci için , hata türünü etkileyen bütün nedenler sıralanır, tanımlar açık olarak yapılır, nedenlerle , düzeltici faaliyetler arasında doğru olarak ilişkilendirilmeleri sağlanır. Hata nedeni, süreç esnasında problemlerin meydana gelebilme gerekçelerini gösterir.

En yüksek şiddet derecesine sahip olan hata türünden başlayarak, tüm hata türleri ve bunların tüm nedenleri belirlenir.⁵⁴ Bir Süreç FMEA ekibi nedenleri ikiye ayırıp ele alır. Bu nedenler şöyle sıralanabilir;

1-Bir işlemeye gelen parçaların/malzemelerin doğru olduğu varsayılırsa;

Tasarım yetersizliğinden dolayı veya daha önceki bazı uygunsuzluklar nedeni ile parçanın arıza yapmayacağı varsayılarak başlanır. Bir hata ile sonuçlanacak birincil nedenler (süreç yetersizlikleri) belirlenir. Birincil neden, bir hata türünün ana nedenidir,

⁵⁴ DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, “**Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA)** ”, 2001.

doğrudan hata türünün oluşmasını sağlar. Geçmişte yapılan ve yapılmakta olan Süreç FMEA'lar ve diğer yararlı bilgi kaynakları gözden geçirilerek geçmişteki bilinen tüm nedenler listelenir.

Her bir hata türünün olası neden(leri) için beyin fırtınası yapılır. Parçanın nasıl arızalanabileceği (örneğin, parça hata türü o işletmede parçanın neden ret edileceği) ve hataya hangi süreç özelliklerinin neden olabileceği gözden geçirilebilir. Değişiklik kaynakları olarak, ekipman, malzeme, yöntem, işçi ve çevre göz önüne alınır.

Hata türlerinin nedenleri azaltılmaya veya ortadan kaldırılmaya çalışıldığında süreç faaliyetleri veya kontrolleri en etkili yöntemdir.

Hatanın müşteri üzerine etkisi hayati bir tehlikeye neden oluyorsa şiddet derecesi dokuz veya on verilir. Şiddet derecesi (hatanın müşteri üzerine etkisi) dokuz veya on değerini almış ise, hata türlerinin nedenleri belirlenir. Eğer uygunsuz çare olacak tasarım faaliyetleri gözönüne alınır. Tasarımın, bütün şartlarını karşılayamadığından dolayı , ürün mühendisliğince bir malzemenin yerine kullanacak başka bir malzeme gözönüne alınır.

Bununla beraber, eğer bu malzeme yeni önerilen geliştirilmiş bir süreç de kullanılır ise bir hata türüne neden olabilir. Bu durumda tasarım mühendisliğinden , yerine kullanılacak diğer bir malzeme seçeneklerinin araştırılmasını istemek gerekir. Örneğin;

Takım ucu ayarı yanlış derinlikte,
Aşınmış takım,
Tork çok düşük,
Fırın sıcaklığı çok yüksek,
Pişirme süresi çok kısa,
Hava basıncı çok düşük,
Konveyör hızı sabit değil,
Malzeme besleme çok hızlı.

2- Gelen Kaynaklarda değişimler olduğu varsayılır ise;

Gelen kaynaklardaki değişimler; dışarıdan satın alınan parçaları/malzemeleri veya daha önceki işlemde gelen parçaları/malzemeleri içine alır.

Önceki işlemlerdeki Süreç FMEA sonuçları gözden geçirilir. Gelen kaynaklardaki değişmelerin gözönüne alınıp alınmayacağına karar verilir. Önceki işlemlerdeki hata türlerinin keşfedilme olasılığı yani hatanın müşteriye ulaşmadan önceki yakalanma olasılığı yoksa gelen kaynaklardaki değişmeler önemli olur. Önceki işlemlerdeki bir hata türünün, sonraki işlemlerdeki bir hata türünün neden olabileceği hatırlanmalıdır. Bir hata türünün neden olabileceği faaliyetler ve kaynaklar belirlenir. Buna örnek olarak;

- Malzeme çok sert/çok yumuşak/çok gevrek,
- Boyutlar şartnameyi karşılamıyor, yüzey parlaklığı şartnameyi karşılamıyor

4.8. Kontrol Önlemlerinin Tanımlanması (Değerlendirmeler/ Kontroller)

Kontrol önlemleri, ürün üzerinde oluşabilecek hataların müşteriye giderek bir zarar vermemesi için, üretici şirket tarafından kurulan filtre(ortaya çıkarma) önlemidir. Her bir hata nedeni için bu önlemler liste halinde ya Kontrol önlemleri sisteminin özelliklerini şöyle sıralayabiliriz;

- 1-Keşfedebilme,
- 2-Frekans,
- 3-Teşhir,
- 4-Tam zamanındalık.

Kontrol önlemleri, hata türünün oluşmasını önleyen veya çıkabilecek hata türünü keşfeden kontroller olarak tanımlanır. Bunlar, İstatistiksel Süreç Kontrol gibi süreç ile ilgili kontroller olabileceği gibi, süreç sonrası muayene/testler de olabilir. Muayene/deneyler söz konusu işlemde yapılabileceği gibi, söz konusu hata türünü oluşturabilecek daha sonraki işlemlerde de yapılabilir.

Seçilen veya kullanılan önlemler listelenir. Bunlar ile hata türleri ve etkileri belirlenir veya hata nedenleri önlenir.

Yeni bir üretim süreci için, kontrol önlemleri (örneğin mühendislik talimatları, süreç çevrimleri, kalite kontrol sistemleri) benzer süreçlerdeki ile tanımlanır veya yerine

getirilir. Başlangıç olasılığı ve keşfedilebilirlik derecelerinin tahmini , bu önlemlere dayandırılarak yapılabilir.

En yüksek şiddet ve olasılık derecelerine sahip hata nedeninden başlayarak, tümü için geçerli değerlendirme/kontrol önlemleri belirlenir.

Geçmişteki mevcut test raporları, servis raporları, garanti verileri ve benzer süreçler için yapılan FMEA çalışmaları gibi bilgi kaynakları gözden geçirilir. Benzer parçaların, hata türlerini keşfetmek veya bir nedenin ortaya çıkmasını önlemek veya azaltmak için geçmişte kullanılan kontroller listelenir.

Olasılık derecesini tahmin ederken, bir hata türünün ortaya çıkması veya azaltılması için düşünülen kontroller göz önüne alınır. Örnekleme yolu ile yapılan kalite kontrol muayenelerinde, bir hatanın keşfedilmesi sonuçlanmayacaktır.

4.8.1. Kontrol Önlemleri

Hata türlerinin nedenlerini veya sonuçlarını belirlemek amacı ile, FMEA formunun her bir satırı için, şirketin kontrol sisteminde halen kabul edilmiş bütün kontrol önlemleri listelenir.⁵⁵

Süreç FMEA'nın kontrol önlemleri; kabul kontrolleri, ürün kontrolleri, süreç kontrolleri, son kontroller v.b. olabilir.

4.8.2. Analizin İlk Aşaması İçin Kontrol Listesi

⁵⁵ Motor Vehicle Company, ‘Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Process (Process FMEA)’, Society of Automotive Engineers (SAE), 2000.

Kontrol listesinde, hata, sonuç ve neden arasında hiçbir mantıksal değişiklik meydana gelip gelmediği kontrol edilir ve mantık sırası belirlenir. Bu sıra aşağıdaki şekilde şematize edilebilir;

SEBEP..... HATA TÜRÜ..... SONUÇ (ETKİSİ)

Analizin adımları şoyledir;

- Her bir hata türü ayrı olarak listelenir.
- Hata türünün birden fazla nedeni var ise, her bir neden ayrı bir satırda listelenir.
- Eğer yalnızca bir tane hata türü nedeni belirlenmiş ise, gerektiğinde neden-sonuç diyagramını kullanarak, başka bir nedenin olup olmadığı kontrol edilir. Çünkü, bir hata türünün birden fazla nedeni olabilir.

4.8.3. FMEA Parametrelerinin Derecelendirilmesi

Olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik FMEA parametreleri olarak sayılabilir. Olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik ölçeği vardır. Bu ölçek şoyledir;

Tablo 4.1. Olasılık, şiddet, Keşfedilebilirlik Derecelendirme Ölçeği

Çiğdem, S., ‘‘Hata türü ve Etkileri Analizi’’, 2.b.,Çayırova:Koç Holding Yayın, s.9, 1995.

Ölçek \ Parametreler										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OLASILIK	Hatanın oluşması olası değilHata oluşacak.									
şİDDET,	Hata ciddi değil.....Hata son derece ciddi									
KEşFEDİLEBİLİRLİK	Hata bulunacak.....Hata bulunmayacak									

RÖS= OLASILIK X ŞİDDET X KEŞFEDİLEBİLİRLİK

4.9. Puanlandırma Sistemi

Puanlandırma için olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik parametrelerinin belirlenmiş olması gerekir. Bu parametrelerin çarpılması ile de Risk Öncelik Göstergesi bulunur. Aşağıda puanlandırma sisteminin parametreleri ele alınmıştır.

4.9.1. Hata/Neden Olasılığı

Nedenin ve onun yarattığı hatanın birlikte olma olasılığıdır. Olasılık nedenleri ve hata türleri ile ilişkilidir.

Olasılığı tahmin ederken;

- Üyelerin deneyimi
- Kalite verileri (kalite sonuçları veya etkileri ile ilgili eski verilerdir, müşteri şikayetleridir)
- Deneysel verilerin kalitesi ele alınır.

FMEA yönetiminde, bütün olası hata türlerinin nedenleri dikkate alınır ve olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik esasına dayanılarak değerlendirilir. Olasılık, belirlenen bir nedenin sonucu olarak, bir hata türünün ne kadar sıklık ile ortaya çıkmasının yansımasıdır. Olasılık değer sayısının, bir değerden çok bir anlamı vardır.

Olası hata türlerinin ortaya çıkma olasılıklarını bir ile on arasında derecelendirilir. Bu derecelendirmede, hata keşfetme önlemleri gözönüne alınır.

Eğer bir süreç de İstatistiksel Süreç Kontrol uygulanıyor ise veya, İstatistiksel Süreç Kontrol, uygulanan daha önceki bir sürecin benzeri ise, olasılık derecelendirilmesi için

İstatistiksel veriler kullanılır. Diğer bütün durumlarda, benzer süreçlerdeki mevcut eski verilerin paralelinde soyut bir değerlendirme yapılır.

Süreç FMEA için olasılık derecesi, aşağıdaki ‘Olasılık Derecelendirme Tablosu’ndan seçilir (Cpk:İşlem Kapasite İndeksi).

Tablo 4.2. Olasılık Derecelendirme Tablosu

DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, “Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA)”, 2001.

Hata Olasılığı	Hatalı Parça Oranı	Cpk	Derece
Çok Yüksek : Israrlı Hatalar	Her 1000 parçada \geq 100 parça	$<$ 0.55	10
	Her 1000 parçada $=$ 50 parça	\geq 0.55	9
Yüksek : Sık Hatalar	Her 1000 parçada $=$ 20 parça	\geq 0.78	8
	Her 1000 parçada $=$ 10 parça	\geq 0.86	7
Orta : Ara Sıra Hatalar	Her 1000 parçada $=$ 5 parça	\geq 0.94	6
	Her 1000 parçada $=$ 2 parça	\geq 1.00	5
	Her 1000 parçada $=$ 1 parça	\geq 1.10	4
Düşük : Az Hatalar	Her 1000 parçada $=$ 0.5 parça	\geq 1.20	3
	Her 1000 parçada $=$ 0.1 parça	\geq 1.30	2

<i>Uzak :</i> Hata Olasılığı Yok	Her 1000 parçada \leq 0.01 parça	\geq 1.67	1
---	------------------------------------	-------------	---

4.9.2. Hatanın Şiddeti

Şiddet, olası hata türünün müşteriye olan etkisinin (sonucunun) önem ve tehlikesinin derecelendirilmesidir. Eğer bir montaj hattında çalışan işçi veya ürünü kullanan müşteri bir hata türü tarafından etkilenirse, hata şiddeti değerlendirilmeye alınır. Hatanın şiddeti, müşteriye olan etkisi yönünden bir ile on arasında derecelendirilir.

Müşteri yönünden şiddetin derecesi, sadece ürün tasarımı üzerinde yapılacak değişikliklere göre değişir. Üretim sırasındaki kontrollerden etkilenmez. Şiddet değeri saptanırken sadece hatanın sonucu (etkisi) esas alındığından, belirli bir sonuç yaratan hatanın tüm olası nedenleri de aynı şiddet değerini alır. Önerilen şiddet değerleri için üretim mühendisliği verilerine başvurulur veya tasarım ile ilgili bilgi yok ise bu değer tahmin edilir.

Üretim, sistemin tamamında etkili olduğundan hatanın daha sonraki süreç işlemlerinde doğurduğu sonuca bağlı olarak şiddet değeri artar. FMEA çalışma grubu, tabloyu kullanarak her bir etki için şiddet derecesi belirlenmesinde ortak karar vermelidir. En önemli etki derecesi seçilir ve kullanılır. Süreç FMEA için şiddet derecesi, aşağıdaki 'Şiddet Derecelendirme Tablosu'ndan (Tablo 4.3'den) seçilir.

Tablo 4.3. Şiddet Derecelendirme Tablosu

DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, “Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA)”, 2001.

ETKİ	DERECE		
	MÜŞTERİYE ETKİSİ	İMALATÇI/MONTAJ HATTINA ETKİ	
Uyarısız Tehlikeli Etki	Bir olası hata türü <u>uyarısız</u> olarak ortaya çıktığında emniyetli araç kullanımını etkilemekte ise ve/veya yasalara uygunsuz bir durumda şiddet çok yüksek derecede olmaktadır.	Uyarısız olarak operatöre (tezgah veya nesneye) tehlike yaratmaktadır.	10
Uyarılı Tehlikeli Etki	Bir olası hata türü <u>uyarılı</u> olarak ortaya çıktığında emniyetli araç kullanımını etkilemekte ise ve/veya yasalara uygunsuz bir durumda şiddet çok yüksek	Uyarılı olarak operatöre (tezgah veya nesneye) tehlike yaratmaktadır.	9

	derecede olmaktadır.		
Çok yüksek	Araç/nesne çalışmamaktadır. (Birincil fonksiyon kaybı)	Ürünün %100'ü hurdaya ayrılmakta yada araç/nesne bir saati aşkın bir sürede tamir edilebilmektedir.	8
Yüksek	Araç/nesne düşük performansta çalışmaktadır. Müşteri çok tatminsiz	Ürün ayıklanabilmekte ve bir kısmı (%100'den az) hurdaya ayrılmakta ya da araç/parça yarım saat ile bir saat arası bir sürede tamir edilebilmektedir.	7
Orta	Araç/parça çalışmakta fakat konfor/uygunluk nesnelere çalışmamaktadır. Müşteri tatminsizdir.	Ürünün bir kısmı (%100'den az) ayıklanmadan hurdaya ayrılmakta yada araç/nesne yarım saatten daha az bir sürede tamir edilebilmektedir.	6
Düşük	Araç/parça çalışmakta fakat konfor/uygunluk nesnelere düşük performansta çalışmaktadır. Müşteri biraz tatminsizdir.	Ürünün %100'ü yeniden işlenebilir yada araç/nesne tamir bölümüne gitmeden hat dışında onarılmaktadır.	5
Çok Düşük	Parça uygunluk ve mükemmellik/gıcırdama ve tıkırdama konularında uygun değil.Kusur müşterilerin büyük çoğunluğunca fark edilebilmektedir.(%75'inden fazla)	Ürün hurdaya ayrılmadan ayıklanabilmekte ya da bir kısmı (%100'den az) üzerinde yeniden işlem yapılabilmektedir.	4
Önemsiz	Parça uygunluk ve mükemmellik/gıcırdama ve tıkırdama konularında uygun değil.Kusur müşterilerin %50'si tarafından fark edilebilmektedir.	Ürün hurdaya ayrılmadan bir kısmı (%100'den az) hat üzerinde fakat istasyon dışında yeniden işlenebilmektedir.	3

Çok Önemsiz	Parça uygunluk ve mükemmellik/gıcırdama ve tıkırdama konularında uygun değil.Kusur titiz ve çok dikkatli müşteriler tarafından (%25'inden az) fark edilebilmektedir.	Ürün hurdaya ayrılmadan bir kısmı (%100'den az) hat üzerinde ve istasyon dahilinde yeniden işlenebilmektedir.	2
Yok	Fark edilebilir bir etkisi yok.	Operasyon yada operatöre belirsiz uygunsuzluk oluşmakta ya da etki meydana gelmemektedir.	1

4.9.3. Hatanın Keşfedilebilirliği

Keşfedilebilirlik, parça üretim veya montaj bölgesini terk etmeden önce, önerilen süreç kontrol önlemleri ile hata türünün belirlenmesidir; 1 ile 10 arasındaki derecelendirme düzeyine göre değerlendirilir.⁵⁶

Hata oluşmuş gibi varsayıp, mevcut bütün kontrol önlemleri ile bu hata türüne sahip parçanın sevk edilmesini önleme yeteneği değerlendirilir. Hatanın ortaya çıkma olasılığının düşük olduğu varsayılarak, otomatik olarak keşfedilebilirlik sayısının da düşük olduğu düşünülmemelidir. Fakat, düşük frekanslı hata türlerini keşfetmek veya onların sürecin daha sonraki aşamalarına gitmelerini önlemek için, süreç kontrollerinin yetenekleri değerlendirilir.

Kontrol yöntemleriyle, hata türünün keşfedilebilmesi sağlanamıyorsa keşfedilebilirlik derecesi olarak 10 kullanılır.

Belirli bir hata türü için birkaç kontrol birden listelenirse, her kontrol için Keşfedilebilirlik derecesi tahmin edilir. İçlerinden en iyi derece (en düşük olanı) seçilir.

⁵⁶ FIAT-00270, Desing FMEA Faiulure Mode And Effects Anlysis.,1989, s.17.

Eğer bütün kontroller uygulanacaksa, kontroller beraberce gözönüne alınarak karma bir Keşfedilebilirlik derecesi tahmin edilir. Bu durumlar örneklerle incelenirse;

Örnek 1: Keşfedilebilirlik Yeteneği Biliniyor:

150.000 parçalık bir üretim faaliyetinde, hata türünü keşfetmek için mevcut kontrollerin kullanılacağı varsayılınsın. Tüm hata türleri için her parça kontrol edilecektir ve eğer hata oluşursa kesinlikle kontrolcü tarafından keşfedilecektir. Bu durumda keşfedilebilirlik derecesi (1)'dir.

Örnek 2: Keşfedilebilirlik Yeteneği Bilinmiyor:

Belirlenen hata türünü keşfetmek için kullanılan mevcut kontrollerin keşfedilebilirlik yeteneğinin bilinmediği varsayılınsın. Bu durumda, keşfedilebilirlik derecesi (10)'dur.

Süreç FMEA için keşfedilebilirlik derecesi seçmek amacıyla 'Keşfedilebilirlik Derecelendirme Tablosu' (Tablo 4.4) kullanılır.

Tablo 4.4. Keşfedilebilirlik Derecelendirme Tablosu

DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, "Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA)", 2001.

Keşif	Kıstas	Muayene Türleri			Keşif Yöntemlerinin Önerilen Menzili	Derece
Hemen Hemen Mümkün Değil	Kontrollerde Keşfedilme Olasılığı Yok			ELLE MUAYENE	Keşfedemeyecek veya kontrol edilmedi.	10
Çok Uzak	Kontrollerde				Kontrollere sadece	9

	Muhtemelen Keşfedilemeyecek				doğrudan olmayan veya rastgele gözlemlerle ulaşılır.	
Uzak	Kontrollerde Keşfedilme Olasılığı Zayıf				Kontrol sadece gözle muayene olarak yapılıyor.	8
Çok Düşük	Kontrollerde Keşfedilme Olasılığı Zayıf				Kontrol sadece iki defa gözle muayene olarak yapılıyor.	7
Düşük	Kontrollerde Keşfedilebilir				Kontrol SPC (istatistiksel Süreç Kontrol) gibi çizelge yöntemleriyle yapılıyor.	6
Orta	Kontrollerde Keşfedilebilir				Kontrol, parçalar istasyonu terkettikten sonra değişken ekipmanla ölçme veya %100 geçer/geçmez masterlar kullanılarak yapılıyor.	5
Ortadan Yüksek	Kontrollerde Keşfedilme Olasılığı Yüksek				Kusurun keşfi; 1-Sonraki operasyonda, 2-Ölçme, ayardan sonra, 3-İlk parça (sadece ayar sebeplerinden dolayı) kontrolünden sonra meydana gelmektedir.	4
Yüksek	Kontrollerde Keşfedilme Olasılığı Yüksek				Kusurun keşfi; istasyonda veya takip eden operasyonlardaki çoklu kabul kademelerinde (tedarik, seçme, yerleştirme, onay) meydana gelmektedir. Farklı parçaları kabul	3

EKİPMAN ÖLÇÜMÜ

HATADAN ARINMIŞ

				edemez.	
Çok Yüksek	Kontrollerde Keşfedilme Olasılığı % 100'e yakın			Kusurun keşfi istasyonda meydana gelmektedir.(otomatik stop özellikli otomatik ölçme) Farklı parça geçemez.	2
Kesin	Kontrollerde Keşfedilme Olasılığı % 100			Süreç/ürün tasarımınca nesne hatadan arındırılmıştır. Farklı parça geçemez.	1

4.9.4. Keşfedilebilirlik Tahmini:

Keşfedilebilirlik tahmini aşağıdaki hususlar gözönüne alınarak gerçekleştirilir.

- Planlanan kontrollerin türleri (gözle, aletlerle, otomatik, vb.)
- Keşfetme frekansı

Süreç FMEA için kolaylıkla açıklanabilir, % 100 muayene, her vardiya, her saatte kontrol. Tasarım FMEA için kolay değil, tasarımın gözden geçirilmesi veya bazı parçaların kontrol edilmesiyle sağlanır.

- Neden değişkenliği / tekrarlanabilirliği

Aynı nedenler / hatalar kolaylıkla keşfedilir. Değişkenlik biliniyorsa, keşfedilebilirliği bilmek kolaydır. Değişkenlik bilinmiyor veya aniden oluşuyorsa keşfedilebilirliği belirlemek kolay değildir.

4.9.5. Keşfedilebilirlik Tahmininde Genel Kıstaslar:

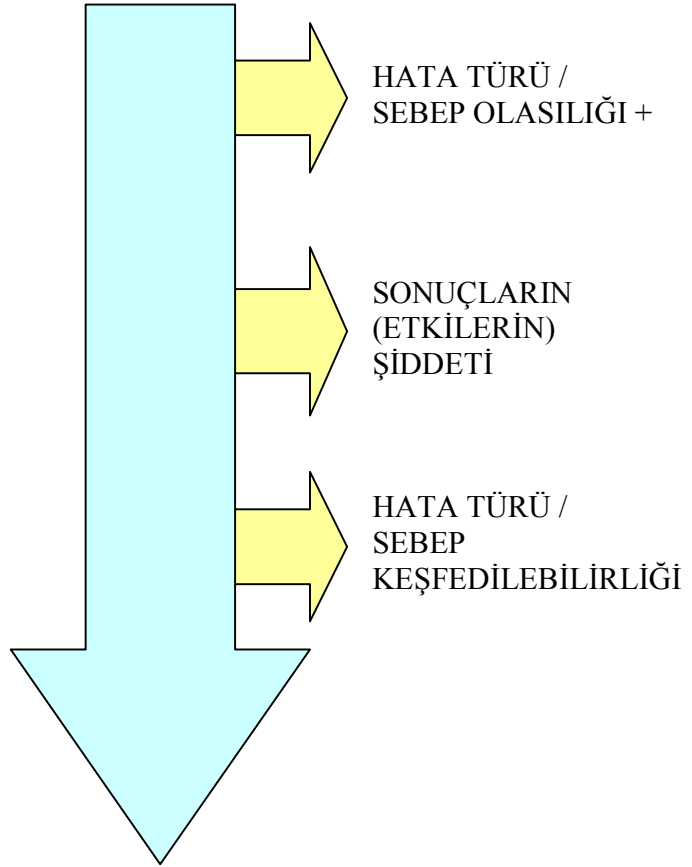
Keşfedilebilirlik tahmininde aşağıdaki kıstaslar genellikle uygulanır.

- Bir insan tarafından yapılan kontrolün keşfedilebilirliği, otomatik olarak yapılandırılan daha yetersizdir.
- Gözle kontrolde keşfedilebilirlik, aletlerle yapılandırılan daha yetersizdir.
- Eğer özellikler çok yüksek oranda tekrarlanmıyorsa, bir örnekleme kontrolünün keşfedilebilirliği çok zayıftır. Eğer özellikler çok yüksek oranda tekrarlanıyorsa, bir örnekleme kontrolünün keşfedilebilirliği iyi olabilir.⁵⁷

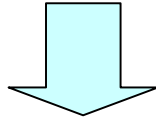
⁵⁷ Ford Motor Company, Potential Failure Mode And Effects Analysis (FMEA), s.42.

RİSK ÖNCELİK GÖSTERGESİ

RİSK ÖNCELİĞİ



YÜKSEK DEĞERLER: YÜKSEK RİSK



ÖNERİLEN İŞLEŞTİRMELER

Şekil 4.1. Risk Önceliği

Çiğdem, S., “Hata Türü ve Etkileri ve Analizi”, 2.b, Çayırova: Koç Holding Yayını, s. 117, 1995.

4.10. Risk Öncelik Sayısı:

Risk Öncelik Göstergesi, her bir hata nedeni için, saptanan Olasılık (O), Şiddet (Ş) ve Keşfedilebilirlik (K) değerlerinin çarpılması ile bulunur ($RÖS = O \times Ş \times K$). Risk Öncelik Sayısı, hata nedenlerinin önemini gösterir ve düzeltici önlemlerin önceliğini tanımlar. Dereceler ve RÖS’ ler kritiklik azaltmak ve süreci daha güçlü yapmak (üretim ve/veya montaj değişmelerini azaltmak) için gözönüne alınacak olası faaliyetler belirlemek amacıyla ve süreç zayıflıklarını sınıflandırmada kullanılır yüksek RÖS sayıları ve şiddet dereceleri, iyileştirici önlemlerin uygulanmasında ve İstatistiksel Süreç Kontrol listesine alınmasında, öncelikle ele alınması gereken durumlardır.

RÖS’nin büyüklüğü ile bağlantılı olarak, iyileştirme faaliyetlerine gereksinme vardır. Düzeltici faaliyetlerin başlatılması kararı, değişik şirketlerde farklı değerlendirmelere göre yapılır. Örnek olarak, aşığıdaki bazı özel değerlendirmeler verilmiştir.

1. Şiddet derecesi ve RÖS sayılarının karşılaştırmasına göre faaliyet başlatılması gereken durumlar:

Şiddet derecesi 9/10 (kritik) $RÖS \geq 40$

Şiddet derecesi 7/8 $RÖS \geq 100$

Şiddet derecesi 4/5/6 $RÖS \geq 120$

Şiddet derecesi 1/2/3 $RÖS \geq 150$

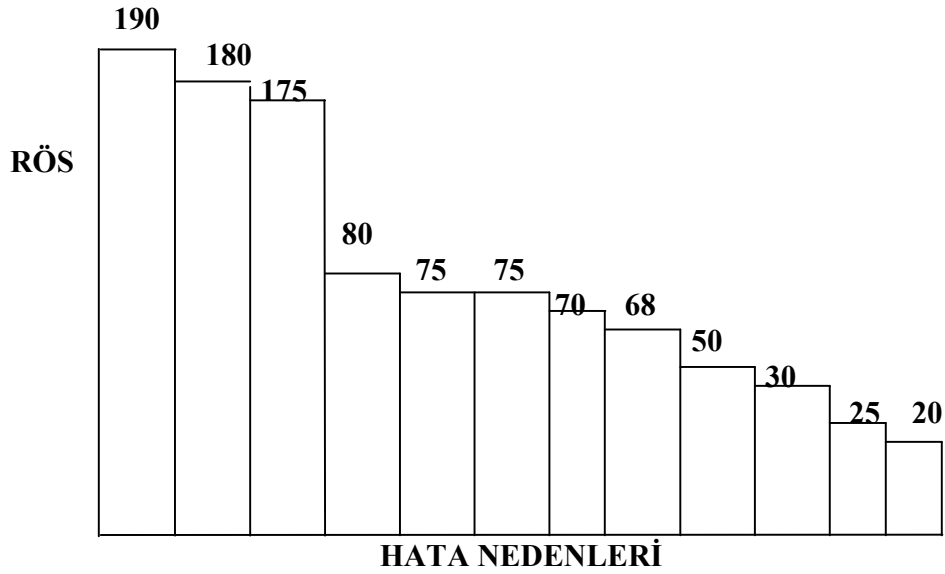
2. RÖS sayılarının karşılaştırmaya göre:

$RÖS \leq 40$ Risk yok

$40 \leq RÖS \leq 100$ Risk belirsiz

$RÖS \geq 100, 0 \geq 9, \text{Ş} \geq 9, K \geq 9$ Risk var.

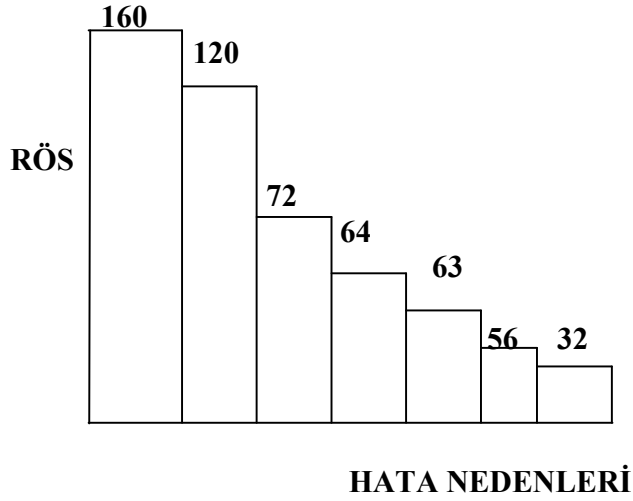
3. Hata nedenlerinin içerisinde en yüksek % 15 RÖS sahip olanlar seçilerek iyileştirilebilir.



Şekil 4.2. Hata Nedenleri Diyagramı-1

Çiğdem, S., “Hata Türü ve Etkileri ve Analizi”, 2.b, Çayırova: Koç Holding Yayını, s. 118, 1995.

4. Hata nedenlerinin içerisinde belirli bir RÖS sayısının üzerinde olanlara iyileştirme kararı verilebilir.



Şekil 4.3. Hata Nedenleri Diyagramı-2

Çiğdem, S., “Hata Türü ve Etkileri ve Analizi”, 2.b, Çayırova: Koç Holding Yayını, s. 119, 1995.

4.11. Önerilen İyileştirmeler:

Önerilen iyileştirmelerin RÖS (Risk Öncelik Sayısı) sayılarına dayandırıldığı, daha önce belirtilmişti. Önlemler bir defa önerildikten, onaylandıktan ve tamamlandıktan sonra,

sonuçların iyileştirilmeleri izlenir.⁵⁸ Önerilen iyileştirme faaliyetleri kısaca tanımlanır. Her bir önlem açıkça belirlenir ve saptanır.

Hata türleri nedenlerini en büyük RÖS' sayısından başlayarak, büyükten küçüğe doğru sıralandıktan sonra, iyileştirme faaliyeti, en yüksek derecede olan şiddet derecesine ve kritik hususlara yönlendirilir.

Belirlenmiş bir hata türü sonucunun üretim / montaj personeli için bir tehlike oluşturabileceği bütün durumlarda, nedenler kontrol edilir ve ortadan kaldırılması için düzeltici faaliyetler uygulanır ve operatör için uygun korunma yolları belirlenir.

Her bir iyileştirme önlemi tam olarak saptanır ve açıkça belirlenir. Eğer önerilen iyileştirmeler, yüksek bir maliyet ve uzun bir gerçekleştirme süresi gerektiriyorsa, birkaç alternatif çözüm önerilir ve böylece karar vericiye en uygun çözümü seçme olanağı sağlanır. Olumlu ve etkili düzeltici faaliyetleri gerçekleştirmeden yapılan bir süreç FMEA doğru düşünülmüş ve iyi geliştirilmiş de olsa, sınırlı bir değere sahip olacaktır. Belirlenmiş bütün öneriler için, etkili izleme programlarının gerçekleştirilmesinden, etkilenen bütün bölümler sorumludur.

İyileştirmeler üzerinde, tasarım, kalite güvence ve üretim bölümleri uzlaşma sağlamalıdır. Önerilen iyileştirme faaliyetleri, şiddet, olasılık, ve/veya keşfedilebilirlik derecelerinden birini veya daha fazlasını azaltmak için alınan süreç faaliyetleridir.

Montaj veya üretim personeline bir hata türü etkisinin tehlikeli olması durumunda düzeltici önlemler alınır. Düzeltici süreç faaliyetlerinin amacı, Şiddet, Olasılık ve Keşfedilebilirlik derecelerini bu sıraya göre azaltmaktır.

Önerilen faaliyetlerin önlemeye yönelik olanları (Ö) ve keşfetmeye yönelik olanlarını da (K) harfi ile belirlemek işe yarar. Bu harfler, hatanın ortaya çıkmasını azaltmaya veya önlemeye (Ö) veya hata türünü keşfetmeye (K) yönelik olduğunu gösterir. Aynı zamanda, faaliyetleri izlemek için, her birine bir numara vermek yararlı olabilir.

⁵⁸ FIAT- 00270, ‘‘Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)’’,s.68, 1989.

Hata türü / neden karışımlarından Şiddet derecesi 8'den ve Olasılık derecesi 1'den büyük ise, kritikliği (Şiddet ve/veya Olasılık derecelerini) azaltmak için süreç faaliyetleri gözönüne alınır ve gözden geçirilir.

Eğer hiçbir düzeltici önlem gerekmiyorsa, bu sütuna yok, gereksiz, -, vs. ifadeleri yazılır ve daha önce hesaplanan RÖS kaydedilir.

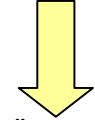
Süreç Aşaması Önlemleri;

- Yeterlilik çalışmasının gerçekleştirilmesi (Cpk, Cp)
- Aletlerin ayarlanması
- İşlem sırasının en uygun sayıya indirilmesi
- Programlı bakımın başlatılması
- Aletlerin talimatlara göre değiştirilmesi
- Tezgah ve üretim makinelerin kontrolünün otomatik olarak yapılması
- Tahripsiz muayenenin başlatılması, vs.⁵⁹dir.

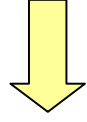
⁵⁹ FIAT- 00270, ‘‘Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)’’,s.68, 1989.

ÖNERİLEN İYİLEŞTİRMELER

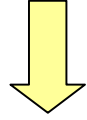
A. ÖNERİLEN FAALİYETLER



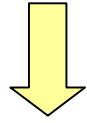
ÖNCELİK



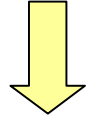
KOŞUL



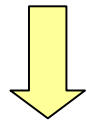
SORUMLULUK



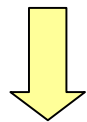
B. GERÇEKLEŞEN FAALİYETLER



TANIM



SONUÇ (RİSK)



SORUMLULUK

Şekil 4.4.Önerilen İyileştirmeler

Ciğdem, S., “Hata Türü ve Etkileri ve Analizi”, 2.b, Cayırova: Koç Holding Yayını, s.57, 1994.

Tamamlanan Önlemler ve Tamamlanma Tarihi:

Bir faaliyet etkili olarak gerçekleştirildikten sonra, şimdiki önlemleri kısa bir tanımı yapılır ve tamamlanmış veya geçerlilik tarihi yazılır. Etkili olarak gerçekleştirilen önlemler (örneğin, teknik resim değişiklikleri, % 100 boyut kontrolü otomatik olarak yapılıyor, vb. gibi) referanslar gösterilerek (resim numarası, vb.) ve gerçekleştirilen tamamlanma tarihi belirtilerek kısaca yazılır. Eğer öneriler iyileştirmelerin uygun olmadığı konusunda (maliyetler veya aşırı zaman sarfı, vb.), görüş birliği sağlanırsa alternatif önlemler belirtilir.

Hataları önleyici olumlu ve etkili faaliyetler gerçekleştirilmediği sürece, Süreç FMEA'nın değeri sınırlı olacaktır. Bütün öneriler iyileştirmelerin uygun olarak gerçekleştirildiğini sağlamak için bir izleme programı gereklidir. En azından:

- Üretim / montaj hataları ortaya çıkartılmalıdır.
- Kritik ve özel kontrolleri belirlemelidir ve üretici kontrol planlarını içermelidir.

Süreç FMEA yaşayan bir belgedir. Daima en son süreç düzeylerini ve ilgili faaliyetleri içerir. FMEA güncelleştirilmesi işlemi, üretim yapılan işlemlerdeki süreç mühendisi, belirlenmiş bir FMEA koordinatörü veya diğer uygun kişilerce koordine edilir.

Birinci Değerlendirme;

Önerilen iyileştirmeler tespit edildiğinde, bu iyileştirmelerle ulaşılabilecek yeni olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik dereceleri tahmin edilir ve RÖS bulunur (bir ve / veya alternatif tahminler gösterilebilir). Bu tahmin bilgileri, FMEA formunun ilk dolduruşunda gösterilir.

İkinci Değerlendirme;

Düzeltilen önlemler tamamlandıktan sonra, hatanın olası nedenleri, Süreç FMEA çalışma grubunca, Olasılık, Şiddet, (eğer tasarım faaliyetleri gerçekleştirilmişse) ve Keşfedilebilirliğe göre yeniden değerlendirilir. Daha sonra yeni Risk Öncelik Göstergesi hesaplanır ve yeniden büyükten küçüğe doğru sıralanır.

Süreç mühendisi yeni RÖS'ni gözden geçirecek ve daha fazla tasarım faaliyetlerine gereksinim olup olmadığına karar verecektir. Eğer varsa yeni önerilerde bulunacaktır. Hiçbir önlem alınmamışsa, önceden hesaplanan Risk Öncelik Göstergesi yazılır.

FMEA ekibi üyelerinin ait oldukları bölümlerinin isimleri yazılır.

FMEA faaliyetleri iki aşamalıdır:

Hata türünün nedenlerini ve etkilerini araştırılan analiz aşaması,

ROG'lerinin belirlenen değerden yukarı olanlarını, düşürmek için yapılan Düzeltici Faaliyetler aşamasıdır.

Bir FMEA faaliyeti çok iyi hazırlanmış ve sunulmuş da olsa, eğer uygun düzeltici önlemler alınmamışsa, bu çalışma sınırlı bir yarara sahiptir. Burada ekip lideri olası problemlerin doğru kişilerin dikkatine sunulmasını sağlamalıdır.

Ekip lideri, FMEA ile şunları gerçekleştirir;

- Gerçekte hatalı gerçekleşme nedenini azaltarak, hata olma olasılığını azaltır,
- Parça ve ilişkili üretim sürecinin yeniden tasarımı ile, hata şiddetini azaltır,
- Parça veya sistem müşteriye ulaşmadan önce keşfedilebilme olasılığı artırır,
- ROG' ni azaltmak için, O, Ş veya K'yı azaltmak gerekir.
- Olasılık sayısını (O), tasarım değiştirerek (malzeme, boyutlar, bilgiler, v.b.) veya süreci değiştirerek (makineler, kalıplar, çevrimler, tezgah yerleştirmesi, v.b.) azaltır,
- **Keşfedilebilme sayısı (K), mevcut kontrol önlemlerini iyileştirerek ve daha etkili kontrolleri benimseyerek azaltır. (gözle, amaca yönelik işlemler, v.b.)⁶⁰**

⁶⁰ Duman, E. , ‘‘Hata Türü ve Etkileri Analizi’’ , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2001.

4.12. Düzeltici Önlemlerin Gerçekleştirilmesi:

Olumlu ve etkili düzeltici faaliyetler olmadan tam olarak iyi düşünülmüş ve geliştirilmiş bir süreç FMEA sınırlı bir değere sahip olacaktır. İlgili bütün birimlerin görevi, düzeltici faaliyetlerin etkili bir biçimde uygulanmasını sağlamaktır.

Sürecin kritik noktaları belirlendikten, öneriler iyileştirmeler yapıldıktan sonra, süreç sorumlusu uygun bir kararın alınmasından, düzeltici önlemlerin gerçekleştirilmesinden ve kontrol edildiğinin garanti edilmesinden sorumludur.

FMEA yaşayan bir belgedir ve daima tasarımın son aşamasını yansıtır ve en son önlemlerin alındığını gösterir.

Önlemler aşağıdaki şekilde düşünülür;

- Ortaya çıkma olasılığını azaltmak için, süreç tekrar gözden geçirilerek düzeltilmesi gerekir.
- Şiddet derecesinin azaltılması sadece tasarımın tekrar gözden geçirilmesi ile sağlanır
- Keşfetme olasılığını arttırmak için süreç ve /veya tasarımın tekrar gözden geçirilerek düzeltilmesi gerekir. Genelde, hata keşfetme kontrollerinin iyileştirilmesi çok pahalıdır ve kalite iyileştirme için etkisizdir. Kalite kontrol muayene frekanslarının arttırılması olumlu bir düzeltici faaliyet değildir ve sadece en son çözüm olarak veya geçici bir önlem olarak kullanılır. Bazı durumlarda, hata keşfetmeye yardımcı olmak, özel bir parçada tasarım değişikliği gerekebilir. Bu olasılığı arttırmak için mevcut kontrol sisteminde değişiklik yapılır. Bununla beraber, esas önlem hataları keşfetmekten çok onları önleme yönünde (örneğin, olasılıkları azaltma) harcanmalıdır. Rastgele numune alma veya %100 muayene yerine istatistiksel proses(süreç) kontrol ve süreç iyileştirme bir örnek olarak kullanılır.

5. OTOMOTİV YAN SANAYİNDEN SÜREÇ FMEA UYGULAMA ÖRNEĞİ

Otomotiv yan sanayinde de teknik çizimlerdeki en son değişiklikleri yansıması için FMEA, şirket içindeki bölümler arası bir faaliyet olarak sürekli olarak güncelleştirilir. FMEA bir defa tamamlandıktan sonra, ortaya çıkan problemin bilinmeyen bütün durumları hakkındaki notlarını ve önerilerini yazmalarını sağlamak için şirket içindeki bütün organizasyonlara verilir.

FMEA bir defa kullanıldıktan sonra ani sonuçlar beklenilmez, fakat yararları anlaşılır ve uygulanmasına devam edilir. Analiz becerileri geliştikçe güçlükler üzerinde çalışılır ve diğer ürünler de kapsam içine alır. Zamanı azaltmak, analizi ve sonuçları geliştirmek için bir dosya oluşturulur.

5.1. Süreç FMEA Kullanma Kılavuzu:

Üretim ve montaj süreçlerinde olası hata türleri ve sonuç analizinin standart şekilde uygulanması amacıyla hazırlanan FMEA formları içindeki rakamlar aşağıdaki rakamlara ve açıklayıcı bilgilere karşılık gelir. Kullanımı önerilen FMEA formu⁶¹, Şekil 4.5’de yer almakta olup, aynı içeriği karşılayan başka formatlardaki formlar da kullanılabilir.

⁶¹ DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, “**Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA)**”, 2001.

Şekil 4.5. Süreç FMEA Formu

1. **FMEA No'su:** Her yeni FMEA çalışmasına bir numara verilir.

2. **Madde (Komponent):** Analizi yapılan süreçte ait sistemin, alt sistemin ya da parçanın numarası ve ismi girilir.
- Süreç (Proses) Sorumlusu:** Müşteri, departman ve grup ismi ile birlikte (eğer biliniyorsa) tedarikçi ismi girilir.
- Hazırlayan:** FMEA'nın hazırlanmasında görev alan sorumlu mühendisin firma, telefon ve isim bilgileri girilir.
- Model Yıl(lar)/Program(lar):** İlgili FMEA'nın yapıldığı parçaya ait model yıl/program bilgileri girilir.
- Kilit Tarih:** Seri Üretim ve İlk Uygunluk Onayı sunuş tarihini geçmeyecek bir hedef tarih verilir.
- FMEA Tarihi:** FMEA'nın ilk yapıldığı ve son revizyon tarihi belirtilir.
8. **Çekirdek Ekip:** FMEA'da sorumlu tüm kişilerin, departmanlarının tanımları ve telefon numarası, adres v.b. sorumlu kişilere ulaşılabilecek bilgileri tanımlanır.
9. **Süreç Fonksiyonu/İhtiyaçları:** Analizi yapılan süreç veya operasyonun basit bir tanımı yapılır.
10. **Olası Hata Türü :** Sürecin, süreç şartlarını ve/veya tasarım amacını karşılaması sırasında oluşabilecek potansiyel hatalardır. Spesifik süreç fonksiyonu için olan uygunsuzluklardır.
11. **Hatanın Olası Etkileri:** Hata türünün müşterideki etkilerini tanımlar. Müşteri bir sonraki operasyon veya son kullanıcı olabilir.
12. **Şiddet :** Hata etkilerinin müşterideki sonuçlarını değerlendirir. Şiddet sadece etkilere uygulanır. Şiddetin belirlenmesinde 'Şiddet Derecelendirme Tablosu'ndan faydalanır. 'Şiddet' yerine 'Etki' sözcüğü de kullanılır.
13. **Sınıf :** Özel ürün/süreç karakteristikleri ve bunlara ait semboller firmadan firmaya farklılık gösterir ve standart bir gösterimleri yoktur. 'Sınıf' yerine 'Karakteristik' sözcüğü de kullanılır.

Hataların sınıflandırma kodlarında genel olarak kullanılan (DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, ve General Motors Corporation firmalarının Temmuz 2001 yılında ortak olarak yayınladıkları "Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA) kitapçığında kullanımı tavsiye edilen) semboller Tablo 5.1'de yer almaktadır.

Hata sınıflandırılmasında kullanılan semboller müşteriden müşteriye farklılık göstermektedir. Otomotiv sektöründe ana sanayinin önerilen sembollerin dışına çıkarak kendi sembollerini kullandığı örnekler mevcut olup bu konuda FIAT firmasında kullanılan özel karakteristik sembolleri Tablo 5.2'de yer almaktadır:

Tablo 5.1. Hataların Sınıflandırılmasında Kullanılan Özel Karakteristik Tablosu

DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, “**Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA)**”, 2001.

Sınıflandırma	Özel Özellikler
▼	Kritik : Hükümetin koyduğu kural veya yasalara uygunluğu veya emniyetli araç/ürün fonksiyonlarını etkileyen ve özel kontroller gerektiren gereksinimler.
SC	Önemli : Ürün ve/veya test gereksinimleri müşteri tatmini için önemli, Kontrol Planı üzerinde özetlenirler ve özel kontrolleri gerektirirler.
OS	Operatör Emniyeti : Ürün üzerine etki etmeyen süreç parametreleri ile ilgilidir. Bunların süreç operasyonunda operatör emniyeti veya yasalara uygunsuzluğa etkisi olabilir. (Ş= 9, 10)
HI	Yüksek Etki : Ürün veya süreç özelliklerinin süreç operasyonunun kendisini veya daha sonraki operasyonları ciddi olarak etkiler fakat özel kontrolleri

	gerektirmez. (Ş = 5 - 8, O = 4 - 8)
--	--

**Tablo 5.2. Hataların Sınıflandırılmasında Kullanılan
FIAT Özel Karakteristik Tablosu**

FIAT-9.01102, “ Quality Of Supplies”, s.17, 2003.

SPESİFİKASYONDAN SAPMA DURUMUNDA MEYDANA GELEBİLECEK HATALAR	ÖNEM SINIFI	TANIMLANMIŞ SEMBOL	
		RESİM ÜZERİNDE	ONAYLI
		FIAT 01366/01 STANDARD KAPSAMINDA	RESİM ÜZERİNDE OLMAYAN
Teknik spesifikasyonlardan sapmanın etkisi sonucunda bir yönetmeliğin ihlali ortaya çıkar ve / veya ürünün kullanım yerinde insanların korunmaları güçleşir.	KRITİK		C
Teknik spesifikasyonlardan sapma sonucunda yüksek değiştirme maliyeti olan arızalar oluşabilir veya şirket imajını etkileyecek durumlar ortaya çıkabilir	ÖNEMLİ		+
Teknik spesifikasyonlardan sapma sadece minör problem yaratabilir	ÖNEMSİZ		-

14. Hatanın Olası Sebepleri: Hatanın nasıl oluşabileceğini tanımlar. Her hata türü için makul hata sebepleri listelenmelidir.

15. Olasılık: Belirli bir sebebin sonucu olarak, bir hata türünün ne kadar sıklıkta oluşabileceğidir. Olasılığın belirlenmesinde 'Olasılık Derecelendirme Tablosu'ndan faydalanır.

16. Mevcut Kontroller: Hatanın meydana gelmesini önleme ve oluştuğu durumlarda keşfetme konularında yapılan çalışmaları tanımlar.

17. Keşfedilebilirlik: Parçanın üretim veya montaj hattını terk etmeden önce hataların belirlenme olasılığıdır. Keşfedilebilirliğin belirlenmesinde 'Keşfedilebilirlik Derecelendirme Tablosu'ndan faydalanır. 'Keşfedilebilirlik' yerine 'Saptanabilirlik' sözcüğü de kullanılır.

18. Risk Öncelik sayısı (RÖS) : Risk öncelik sayısı (RÖS) , şiddet (Ş) , olasılık (O) ve keşfedilebilirlik (K) puanlarının çarpımıdır.

$$RÖS = (Ş) \times (O) \times (K)$$

RÖS'ün sonucunun değerlendirilmesine 4.10. bölümde değinilmiş idi. 'RÖS' yerine Risk Öncelik Göstergesi anlamına gelen 'RÖG' sözcüğü de kullanılır.

19. Önerilen Faaliyet(ler): Risk öncelik sayısını azaltmak için alınacak önlemleri içerir.

20. Sorumlu ve Hedef Tamamlanma Tarihi: Önerilen faaliyet için sorumlu ve termin belirtilir.

21. Gerçekleşen Faaliyetler : Alınan önlemlerin kısa bir tanımı yapılır ve geçerlilik tarihleri belirtilir.

22. Faaliyet Sonuçları: Düzeltici faaliyet belirlendikten sonra olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik puanları tahmin edilerek kaydedilir ve Risk Öncelik Sayısı tekrardan hesaplanır.

Süreç FMEA'nın tam olarak yapıldığından emin olmak, açıkta kalan bir konunun olup olmadığının kontrolü ve tamamlanması için Tablo 5.3.'de yer alan kontrol listesi kullanılır. Kontrol listesindeki bütün soruların cevabı evet olmalıdır.

Tablo 5.3. Süreç FMEA Kontrol Tablosu

Çiğdem, S., “**Hata Türü ve Etkileri ve Analizi**”, 2.b, Çayırova: Koç Holding Yayını, s. 129-130, 1995.

Ön Hazırlıklar	FMEA ekibi oluşturuldu mu? Geçmişteki bilgiler kontrol edildi mi?
Süreç Akış Şeması	Bir süreç akış şeması hazırlandı mı? Listelenen her bir işlemdeki parça özellikleri ortaya konuldu mu veya değerlendirildi mi? Her bir işlemdeki süreç özellikleri liste halinde yazıldı mı? Uygulanabilmesi için, girdi değişme kaynakları belirlendi mi?
Başlık Bilgileri	Başlıktaki tüm uygulanabilir kayıtlar tamamlandı mı?
Tanım / Amaç	Her bir işlemin amacı veya fonksiyonu listelendi mi?
Hata Türleri	Hata türleri, “Parça reddi niçindir?” e göre listelendi mi? Parça özellikleri şartname sınırları dışında olduklarından reddedileceklerinden, hata türleri, parçaların üretildikleri işlemdeki parça özelliklerini listeledi mi? Hata türleri Muayene/Test işlemlerini içeriyor mu;

	<p>örneğin, kötü parçalar kabul, iyi parçalar red? Bir hata türü daha sonraki bir işlemeyi ters yönde etkilerse:</p> <ul style="list-style-type: none">- Hata türü daha sonraki işlemin bir nedeni gibi listelendi mi?- Daha sonraki işlemdeki hata türü belirlendi mi?
Hata etkileri	<p>Tezgahlara, fabrika işçilerine ve son müşteriye olabilecek olası tehlikeli etkiler göz önüne alındı mı? Etkiler, hata türünün aşağıdakiler üzerine olan etkisine göre tanımlandı mı?</p> <ul style="list-style-type: none">- Yerel işleme, bir sonraki işleme, daha sonraki işlemler.- Bir sonraki kullanıcı (üretim veya montaj işletmesi)? Son kullanıcı olan müşteri?- Ürün?- Yasalar?
Hata Sebepleri	<p>Süreçte yanlış gidebilecek hususlar belirlendi mi? Nedenler, giderilebilen veya kontrol edilebilen özelliklere göre tanımlandı mı? Süreç özellikleri göz önüne alındı mı? Tasarım zayıflıkları göz önüne alındı mı? Her bir ekleme için malzeme ve parça girişleri göz önüne alındı mı? İşçi faaliyetleri göz önüne alındı mı?</p>
Geçerli Süreç Kontrolleri	<p>Derecelendirmeler hata türünün en ciddi etkilerine dayandırıldı mı? Müşteriye olan etkiler göre değerlendirmeler, tasarım. FMEA'da gösterilen derecelendirmelerde uyum sağlıyor mu?</p>
Şiddet Derecesi	<p>Derecelendirmeler, bir hata türü olasılığını azaltmak için önleyici kontrollerin yeterliliğini göz önüne alıyor mu?</p>
Olasılık Derecesi	<p>Derecelendirmeler, parçaların üretim veya montaj işletmesini terk etmeden önce hata türünün mevcut kontrollerin keşfetme yeterliliğine dayandırıldı mı?</p>
Keşfedebilme Derecesi	<p>Derecelendirmeler, parçaların üretim veya montaj işletmesini terk etmeden önce, hata türünün mevcut kontrollerin keşfetme yeterliliğine dayandırıldı mı?</p>
Öncelik Sınıflandırılması	<p>Kritik özellikler ve onların özel Kontrolleri belirlendi mi? Kritik özellikler, bir süreç (veya parça) özelliği olarak belirlendi mi? Kritik özellikler ve onların özel Kontrolleri, sorumlu kasarım mühendisine bildirildi mi?</p>

Risk Öncelik Göstergesi	Risk Öncelik Göstergeleri (RÖS) büyükten küçüğe doğru sıralandı mı?
Önerilen İyileştirmeler	<p>Kritik özelliklerin kritikliğini azaltmak için süreç faaliyetleri göz önüne alındı mı?</p> <p>Kritik özellikler için özel üretim/montaj Kontrolleri belirlendi mi?</p> <p>Bütün kritik özellikler sorumlularına yöneltildi mi?</p> <p>En yüksek değerlerdeki RÖS'lerine sahip olan hata türlerinin, RÖS değerlerinin azaltılması için çare olacak faaliyetler göz önüne alındı mı?</p> <p>Önerilerin faaliyetler için sorumlular ve zamanlama listelendi mi?</p> <p>Uygun yerlerde keşfetme yerine önleyici faaliyetler listelendi mi?</p> <p>Uygulanabilir yerlerde, olası tehlikeli hata türlerinin olasılığını ortadan kaldırmak/azaltmak için faaliyetler göz önüne alındı mı?</p>
İzleme	Risk Öncelik Göstergeleri (RÖS) büyükten küçüğe sıralandı mı?

5.2. FMEA'nın Doğru Zamanda Uygulanmaması Durumunda Yaşanabilecek Kayıplar

FMEA, mutlaka yeni bir süreç devreye alınmadan önce uygulanmalıdır. Aksi durumda, yaşanan kayıplar ve problemlerden yola çıkılarak yapılan FMEA çalışmasının geç yapılmasından dolayı firmalar ciddi mali kayıplar ve bunun yanında değeri para ile ölçülemeyen ciddi imaj kayıplarına maruz kalabilirler.

FMEA'nın doğru zamanda uygulanmaması sonucunda yaşanmış kayıplara yönelik olarak otomotiv yan sanayinde plastik parçaların boyanması konusunda faaliyet gösteren bir kuruluş olan OTOSİMA LTD. ŞTİ.'nden bir örnek aşağıda verilmiştir.

Proje başlangıcında başka bir firmada üretilen (boyanan) ancak ani bir karar ile ön hazırlıkları tamamlanamadan OTOSİMA'da Şubat 2005 sonunda boyanmaya başlanan bir parçanın(Palio Restyling Ön Panjur) FMEA çalışması iki ay gecikme ile ancak Nisan 2005 sonunda yapılabildiği. Tamamıyla FMEA çalışmasının zamanında yapılması durumunda önüne geçilebilecek bir takım hatalardan dolayı OTOSİMA'ya parça iadesi yapılmış olup sözkonusu iadelerden dolayı firma, müşterisi olan TOFAŞ'ın kalite hedeflerine (IDP ve PPM) bağlı kalamamıştır. Sözkonusu iki hedefin tanımı ve hesaplanma yöntemi aşağıda belirtilmiştir:

a. IDP (Ceza Puan Performansı): Firmanın müşterisine gönderdiği üründe (kalite, lojistik v.b.) müşteri beklentilerinin tam olarak karşılanamaması durumunda müşterinin tedarikçi firmaya kestiği ceza puanlarıdır. Ceza puan performansında koyulan hedef puanın ve firmanın mevcut puanının hesaplanmasında aşağıdaki yöntem uygulanır.

IDP: Firmaya kesilen aylık bazda ceza puanlarının toplamı

D: Firmanın o ay içerisinde ilgili ürün grubunda (örnek: dış muhafazalar) müşteriye gönderdiği ürünlerdeki birbirinden farklı toplam resim numara sayısı

Ceza Puan Performans Hesabı: $IDP/(D*1000)$

b. PPM (İade Performansı): Firmanın müşterisine gönderdiği üründe (kalite, lojistik v.b.) müşteri beklentilerinin tam olarak karşılanamaması durumunda müşterinin tedarikçi

firmaya iade ettiği ürünlerin adetsel toplamının, firmanın müşteriisine yaptığı ürün teslimat adetlerinin toplamına oranıdır. PPM oranı, ürün grubu ve aylık bazda hesaplanır.

Sevk Miktarı: İlgili ürün grubu bazında o ay içinde müşteriye gönderilen ürünlerin adetlerinin toplamı

İade Miktarı: İlgili ürün grubu bazında o ay içinde müşteriden tedarikçi firmaya iade edilen ürünlerin adetlerinin toplamı

PPM Hesabı: İade Miktarı/(Sevk Miktarı*1.000.000)

Proje devreye girmeden önce FMEA çalışması yapılamadığından dolayı önceden tahmin edilemeyen veya tahmin edilmesine rağmen proje direk olarak devreye girdiği için yeterli zaman olmadığından dolayı tam olarak önlemi alınamayan hatalardan dolayı TOFAŞ'tan firmaya parça iadesi yapılmıştır. Söz konusu iadelerden dolayı firmanın ilgili ürün bazındaki kalitesel verilerinin müşteri hedeflerine göre karşılaştırılması Tablo 5.4.'de yer almaktadır.

FMEA'nın zamanında yapılamamasından dolayı, müşteride ortaya çıkan ve/veya firma içerisinde tespit edilen hataların sonucunda oluşan ilgili ürüne ait aylık bazdaki kalitesizlik maliyet rakamları Tablo 5.5.'de belirtilmiştir. Söz konusu kalitesizlik maliyet rakamları ancak hesaplanabilen maliyetler olup firma bu kayıpların yanında değeri para ile ölçülemeyen ciddi imaj kaybı da yaşamıştır. İlgili ürüne ait kalitesizlik maliyetlerinin açıklamaları aşağıda belirtilmiştir:

İskarta Ürün İlave Maliyeti: Müşteriden geri gelen ve/veya firma içerisinde tespit edilen ıskarta parçalardan tamamıyla kullanılmaz olan ürünlerin maliyeti ile yeniden işleme ve/veya tamir gerektiren ürünlerin yeniden işleme ve tamir maliyetlerinin toplamıdır.

Kalite Personel İlave Maliyeti: Müşteriden hata bildirimini yapıldığında, gerek müşteri hattında gerekse firmanın kendi içerisinde yapılan tarama, ayıklama faaliyetleri için harcanan işçilik maliyetlerinin toplamıdır.

Fazla Üretim Mesai Maliyeti: Müşteride ve/veya firma içerisinde hatalı ürünler tespit edildiğinde bunların yerine uygun ürünün üretilmesi için planlama dışında gerçekleşen üretime ait işçilik maliyetlerin toplamıdır.

Aşırı (Pahalı) Navlun Maliyeti: Müşteride ve/veya firma içerisinde hatalı ürünler tespit edildiğinde bunların yerine uygun ürünün üretilmesi için geçecek sürede müşteri hattına zamanında sevkiyat yapılması için ektradan yapılan lojistik harcamalarıdır.

5.3. Süreç FMEA Uygulama Örneği

Hata Türü ve Etkileri Analizi uygulamasına örnek olarak otomotiv yan sanayiinde plastik parça boyanmasına yönelik olarak faaliyet gösteren OTOSİMA Plastik San. ve Tic. LTD. ŞTİ.'nde geleneksel (DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, ve General Motors Corporation firmalarının Temmuz 2001 yılında ortak olarak yayınladıkları ‘‘Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA) kitapçığında tanımlı) metoda göre yapılmış olan FMEA uygulaması incelenecektir. İlgili FMEA uygulamasının, geleneksel metodun dışında diğer metodlar (Bulanık Kural Tabanlı Yaklaşımı ve Gri Teori Yaklaşımı) ile yapılması denendiyse de firmada sözkonusu iki yaklaşıma bağlı olarak dilsel terim ve dilsel değişkenlerin yorumunu yapabilen, bununla ilgili eğitimleri almış ve pratik yapmış uzmanlar bulunmayışından dolayı alternatif yöntemler kullanılarak FMEA çalışmasının yapılması sonuçlandırılmamıştır. OTOSİMA LTD. ŞTİ.'nin otomotiv sektöründeki müşterileri TOFAŞ ve TOYOTA'dır.

FMEA Konusu: TOFAŞ'ın Doblo Restyling (RST) modeline ait Kapı Yan Süs Çıtaları'nın boyanmasına ait Süreç FMEA örneği

Doblo RST Kapı Yan Süs Çıtaları'nın boyalı parça üretim süreci toplamda 11 ayrı operasyondan oluşmaktadır. İlgili parçaya ait İmalat ve Kontrol Sinoptiği (İş Akış Diyagramı) ve FMEA aşağıda incelenmektedir.

İmalat ve Kontrol Sinoptiği, bir parçanın üretiminde izlenen tüm operasyon adımlarının sıra ile gösterildiği özet iş akış diyagramıdır. Bu diyagramda kullanılan sembollerin ve kısaltmaların açıklaması sinoptikler içerisinde belirtilmiştir.

Süreç FMEA uygulamasında ise sırası ile (Parça Hazırlama, Astar Uygulama, Zımparalama, Fırınlama v.b.) tüm operasyonlar ve bu operasyonlarda oluşabilecek olası hata türleri ve bu hataların olası etkileri göz önüne alınarak Sy.113'de yer alan Süreç

FMEA Formu'nun içeriğine bağlı kalınarak Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanmış ve RÖS > 100 olan olası hata türleri için faaliyetler tanımlanmış, tanımlı faaliyetlerin tamamlanması sonrasında RÖS tekrar hesaplanılarak FMEA çalışması, ilerleyen zamanlarda meydana gelebilecek herhangi bir değişikliğe kadar kapatılmıştır.

S O N U Ç

Hata Türü ve Etkileri Analizi, son yıllarda artan bir şekilde endüstriyel alanda uygulama bulmaktadır. Bu yöntemin, uygulama alanlarının hızla artmasının en önemli

nedeni, diğer yöntemler gibi sadece hatayı ortaya çıkarmakla yetinmemesi, hataların ortaya çıkmasını önleyecek önlemlere de yer vermesidir. Böylece hatalar müşteriye ulaşmadan önce belirlenip giderilecek, dolayısıyla ortaya çıkacak olumsuzluklar da önlenmiş olacaktır.

Bu çalışmada, FMEA'nın uygulama süreci tanımlanırken, karşılaşılabilecek olumsuz yönler de sırası ile tanıtılmaya çalışılmıştır. Karşılaşılan en önemli olumsuzluk, işletmelerin bilgi alt yapısının bulunmayışı ile ilgilidir. Bu durumda kişilerin deneyim ve yargıları esas alınarak yapılan değerlendirmeler yeteri kadar sağlıklı sonuçların alınamamasına neden olmaktadır. Kişiler yanlış düşünebildiklerinden veya her zaman yeterli bilgiye sahip olmadıklarından yanlış değerlendirme yapabilmektedirler. Sorun, özellikle uzman olarak nitelendirilen kişilerin işletmeden ayrılması durumunda daha açık olarak ortaya çıkmaktadır.

Daha önce de bahsedildiği gibi, Tasarım FMEA ve Süreç FMEA birçok noktada üst üste çakışırlar. Bir tasarım FMEA 'ya bakarak, tasarımcının ürün hata türlerine yaratacak üç tip esas neden belirleyeceğini dikkat edilmelidir.

- Tasarımdaki kusurlar ve ihmaller nedeniyle olanlar (örneğin, düşük mühendislik tasarımı, destek eksikliği gibi)
- Çevre koşulları nedeniyle olanlar (iç/ dış)
- Uygunsuz üretim süreci nedeniyle olanlar

Tasarımcı, yapılabirlik, yönetebilirlik ve kontrol edilebilirliği geliştirmek için tasarımı değiştirebilir. Ek olarak da üretim bölümüne süreçleme kontrol tekniklerinin geliştirilmesini önerebilir. Bu, iki FMEA'yı yöneten bölümlerin arasında işbirliği ve beraber çalışmayı da içerir.

Benzer bir çalışma, bağımsız bir parçayı analiz eden tasarımcı ile ürün mühendisi arasında ve parçayı daha karmaşık bir sistemin parçası olarak analiz eden tasarımcı ve

üretimin uzmanı arasında da gereklidir. Bazı durumlarda, araç üzerinde komple bir sistemin (fren sistemi gibi) montajı için FMEA (tasarım veya süreç) gerekebilir.

FMEA uygulaması kritik ürünler veya süreç parçaları ile sınırlandırılarak, yüksek maliyetler karşılığında önemsiz sonuçlara ulaşılmaktan kaçınılacaktır. Yüksek Risk Öncelik Göstergeli olan alanlarda yoğunlaşmak, en ciddi problemlerin çözümüne gayretleri yönlendirmeyi mümkün kılacaktır.

Benzer süreçlere ve ürünlere ait geçmişte yapılan çalışmalara ait belgelerin çok yararlı olmakla birlikte sürecin hangi parçalarının en kritik olduğuna karar vermek FMEA uzmanlarının deneyimli olmalarını gerektirir.

Diğer metodlar ile karşılaştırıldığında, gerek uygulanabilirliği, gerek uygulamanın etkinliği, gerekse firmada yaşanabilecek maddi, manevi kayıpların önüne çok önceden geçilebilmesinde sağladığı avantajlardan dolayı FMEA zamanında uygulandığında tercih edilebilecek en iyi metoddur. Çünkü FMEA, risk analiz metodları ile hata önleme metodlarının bir birleşimidir.

KAYNAKLAR

1. Akın, Besim, Erol, Vedat, Erol, Çetin, Canan, **“Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 9000 Kalite Güvence Sistemi”** , Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1998.
1. Aktaş, S., **“Hata Türü ve Etkileri Analizi”** , DEÜ Mühendislik Fakültesi Bitirme Tezi, İzmir, 1997.
2. Andaç, Murat, **“Risk Analiz ve Yönetimi”**, İSG, Mayıs-Haziran 2002
3. Baraçlı, Hayri, **“Sıfır Hataya Ulaşmada Poka-Yoke Tekniği ve Ayakkabı Sektöründe Uygulanması Doktora Tezi”**.
4. Besterfield, D. H., Besterfield, C., Besterfield, G. & Besterfield, M., **“Total Quality Management 2nd Ed.”** , Prentice Hall, New Jersey, 1999.
5. Bıçaklı, Rüknettin, **“OHSAS 18001, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi”**, Kasım-Aralık 2002
6. Bilgin, M. , **“Tasarımda Kalite ve FMEA Metodu”** , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1994.
7. Bissell,D., **“Statistical Methods For SPC And TQM”** , Chapman & Hall, USA, 1994
8. Bothe, D.R., **“Measuring Process Capability”**, McGraw-Hill, USA,1997.
9. Boyacıoğlu, B., **“Hata Etkileri Analizi – FMEA”** , Elginkan Vakfı Eğitim Semineri, 1998.
10. Chen,C.B., Klien,C.M., **“A Simple Approach To Ranking A Group Of Aggregated Fuzzy Utilities”** , IEEE Trans Syst Man Cybernet, Bölüm B: Cybernet, 1997.
11. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, **“Production Part Approval Process(PPAP) ”**, 2000.
12. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, **“Advanced Product Quality Planning and Control Plan(APQP) ”**, 1995.
13. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, **“Statistical Process Control(SPC) ”**, 1995.

14. Cohen, L. , **“Quality Function Deployment: How to Make QFD Work For**
15. Colin S. Howat Ph.D., **”FAULT TREE ANALYSIS”** , Plant & Environmental Safety, 2002
16. Çiğdem, S. , **“Hata Türü ve Etkileri Analizi“**, 2.b.,Çayırova :Koç Holding Yayını, 1995.
17. DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, **“Measurement System Analysis(MSA) ”**, 2002.
18. DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, **“Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA) ”**, 2001.
19. Dasgupta ve Pecht, **“Material Failure Mechanisms and Damage Models”**, Jour. IEEE Transactions on Reliability 40(5):531-536, 1991.
20. Demir, H., **“Üretim/ İşlemler Yönetimi”**, Beta Bas. Yay. Dag. A.Ş., Türkiye, 1994.
21. Deng, J. , **“Introduction To Grey System Theory”** , J Grey Syst, 1989.
22. Dhillon, **“Mechanical Reliability Theory, Models and Applications”**, AIAA, USA, 1988.
23. Doğan, Ü., **“Kalite Yönetimi ve Kontrolü”** , Istiklal Matbaası, Türkiye, 1991.
24. Duman, E. , **“Hata Türü ve Etkileri Analizi”** , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,2001.
25. EQOC, **“European Organization For Quality Control”** , Glossary, 3rd Edition, Rotterdam, 1972.
26. Ergör, Dr. Alp, **“Çevresel Ve Mesleki Risk Değerlendirme”** , DEÜTF Halk Sağlığı AD Ulusal Toksikoloji ve Klinik Toksikoloji Sempozyumu, Mayıs 2003 – İzmir
27. Eureka, W. E. & Ryan, N. E., **“Customizing Your House”** , ASI Press, Irwin, New York, 1995.
28. FIAT–00270, **“Desing FMEA Failure Mode And Effects Anlysis”**, ,1989
29. FIAT–9.01102, **“ Quality Of Supplies”**, 2003.

30. Ford Motor Company, **“Failure Mode and Effects Analysis Handbook”** , Ford Motor Company, Dearborn, 2000
31. Ford Motor Company, **“Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA) ”**, 1988.
32. Griffin, Abbie & Hauser, J. , **“The Voice Of The Customer”**, Vol.12, No.1. 1993.
33. Guinta, Lawrence R., Praizler, **“The Team Approach To Solving Problems And Satisfying Customers Through Quality Function Deployment”** , New York, 1993.
34. IEEE STD 729, **“Standard Glossary of Software Engineering Terminology”**, The Institute of Electrical and Elektronik Engineers, 1983.
35. Ireson, **“Reliability Handbook”**, chap. 12, McGraw-Hill Book Company, USA, 1966.
36. ISO-5725-1, **“Statistical Methods For Quality Control-ISO StandardsHandbook”**, ISO, Switzerland, 1995.
37. James, E.Kelly, **“Fault Tree Analysis Methods And Applications”**, Reliability in Product
36. Kavrakoğlu, İbrahim, **“Toplam Kalite Yönetimi”**, Kalder Yayınları,1992.
37. Kazmierski, T.J., **“Statistical Problem Solving in QualityEngineering”**, McGraw-Hill Inc., USA, 1995.
38. Klir, G.J., Yuan, B., **“Fuzzy Sets And Fuzzy Logic Theory And Application”**, New Jersey: Prentice-Hall, 1995.
39. KOGEM, **“FMEA Seminer Notları”**, 1994.
40. Kuusela, H. , Spence, M.T. & Kanto, A.J., **“Expertise Effects On Pre-Choice Decision Processes And Final Outcomes”** , Eur J Market, 1998.
41. Lewis, **“Introduction to Reliability Engineering”**, John Wiley & Sons New York: 329-336, 1987.
42. Mizuno, S. & Akao Y., **“QFD: The Customer-Driven Approach to Quality Planning and Deployment, Asian Productivity Organization”** , Tokyo, 1994.
43. MMO Yayınları: 239, **“İş Sağlığı Ve Güvenliği Konferans Bildiriler Kitabı”** , 27-28 Kasım 1999

44. Mohr, R.R., **“Failure Modes and Effects Analysis”** , JE Jacobs Sverdrup, 8th Edition, February 2002
45. Motor Vehicle Company, **“Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Process (Process FMEA)”**, Society of Automotive Engineers (SAE), 2000.
46. MIL-STD 1629A, **“Procedures for Performing a Failure Mode”**, Effects and Criticality Analysis, Department of Defence, USA, 1984.
47. OHSAS 18001:1999, **“Occupational Health and Safety Management Systems-Specification”**
48. OHSAS 18002 :2000, **“Occupational Health And Safety Management Systems - Guidelines For The Implementation Of OHSAS 18001”**
49. OYAK-RENAULT, **“Hata Türü ve Etkileri Analizi”**, 1990.
50. Özkılıç,Ö., **“İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk değerlendirme Metodolojileri”**, İstanbul, 2005.
51. Özveri, O, **“Ölçüm Sistemlerinin Değerlendirilmesi”**, Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt:11, Sayı:1, 1996.
52. Pillay, A. , Wang, J. , **“Reliability Engineering And System Safety: Modified Failure Mode And Effects Analysis Using Approximate Reasoning”**, Vol.79 , No.1 , 2003
53. Pollack, **“Tool Design”**, 2nd edition, Prentice Hall, 1988.
54. Polovko, Trans. By W.H. Pierce, **“Fundamentals of Reliability Theory”**, Academic Press New York, 1968.
55. Revelle, J. B., Moran, J. W. & Cox, C. A., **“The QFD Handbook”** , John Wiley and Sons, New York, 1998.
56. Risk Management Proseses, Süreç Hazard Analizi, **“Safety Management Services”**, 2002
57. Safety Management Services,inc. (SMS), **“Process Hazard Analizi”**, Risk

Management,2002

58. Stamatis, “**Failure Mode and Effect Analysis-FMEA from Theory to Execution**”, ASQC Quality Press, Wisconsin, 1995.
59. Stewart, “**Software Error Costs**”, Jour. Quality Progress, 1988.
60. Sean Carron, P.Eng and Paul Raynor B.Sc.,”**The Enhanced Approach to Process Hazard Analysis and Safety Instrument System Design**”,ISA Technical Paper 6015, 2002
61. Şen, Z. , “**Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri**” , Bilge Kültür Sanat, İstanbul,2001.
62. Şimşek, M., “**Sorularla Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemleri**” , Alfa Basım Yayım Ltd. Şti., İstanbul, 2000.
65. Taylan, B., “**İstatistik**” , Barış Yayınları, Fakülteler Kitapevi, Türkiye, 1995.
63. Topaloğlu, Yusuf, “**İnsan Kaynakları, Kalite Sistemleri ve İş Güvenliği**”, MMO Arşivi, Temmuz, 2000
64. Uğur, Naci, “**Tasarımda ve İmalat Montaj Süreçlerinde Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi**”, Ankara: KOSGEB Eğitim Merkezi Yayını, 1997.
65. Wang, L.X. , “**A Course In Fuzzy Systems And Control,**” , New Jersey: Prentice-Hall,1997.
66. Yenginol, F., “**Yeni Ürün Geliştirmede Müşteri İstek ve İhtiyaçlarını Teknik Karakteristiklere Dönüştürmeyi Sağlayan Bir Yöntem: Kalite Fonksiyon Göçerimi**”, Dokuz Eylül Üniversitesi Doktora Tezi, İzmir, 2000.
67. Yılmaz, A., “**Hata Türü ve Etki Analizi**”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,1997.
68. Yılmaz, B. S., “**Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi: Hata Türü ve Etki Analizi**” , Vol.2, No.4, 2000.

Internet Kaynakları:

<http://www.fmeca.com/ffmethod/history.htm>, 10.12.2005

<http://www.fmeca.com>, 06.12.2005

<http://www.fmeca.com/ffmethod/elem/current.htm>, 14.12.2005

<http://www.fmeca.com/ffmethod/elem/detectio.htm>, 14.12.2005

<http://www.fmeca.com/ffmethod/elem/function.htm>, 14.12.2005

<http://www.fmeca.com/ffmethod/fineaproc.htm>, 14.12.2005

<http://www.fmeca.com/ffmethod/identify.htm>, 17.12.2005

<http://www.fmeca.com/ffmethod/understa.htm>, 14.12.2005

<http://www.kageme.itu.edu.tr>, 12.10.2005

<http://www.coskuno.com.tr/sosyal-1-1.html>, 03.01.2006

<http://www.shf.ac.uk/~ibberson/qfd.html>, 03.01.2006

<http://www.idea.com.tr/05psh/sqfd.htm>, 03.01.2006

<http://www.mylmz.net/Kalite/QFD/QFD.htm>, 03.01.2006

http://www.iti-oh.com/cppd/qfd/qfd_basics.htm, 03.01.2006

<http://www.kageme.itu.edu.tr>, 12.10.2005

www.kmo.org.tr, 07.01.2006

www.insankaynaklary.com/bireyler/trends/makale/iskaza.asp,08.12.2005

<http://www.kaliteofisi.com/download/e-kitap.asp>, 09.12.2005

<http://www.marmatek.com/urunler/akustik-olcum-sistemleri/>, 18.01.2006

ÖZGEÇMİŞ

ERGÜN KORU

1978 yılında Bursa'da doğdu. İlkokulu, Bursa Sönmez İlköğretim Okulu'nda , orta öğrenimini ise Bursa Cumhuriyet Lisesi'nde 1996 yılında tamamladı. Aynı yıl kazandığı İstanbul Teknik Üniversitesi'nde 1996-1997 yıllarında İngilizce Hazırlık; 1997-2001 yılları arasında ise Makina Mühendisliği lisans eğitimi alarak 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl, Uludağ Üniversitesi İşletme Ana Bilim Dalı'na bağlı olarak İşletme Bölümü'nde Tezli Yüksek Lisans Programına katıldı. Yüksek lisans programını takip ederken, Ocak 2002 itibarı ile OTOSİMA Plastik Sanayi Ticaret ve Limited Şti'nde 'Kalite Departman Sorumlusu' olarak göreve başladı, 2003 yılında 'Mühendislik Departman Sorumlusu', 2006 yılında ise 'Teknik Müdür' görevine atandı ve halen OTOSİMA LTD. ŞTİ'nde 'Teknik Müdür' görevini ve Uludağ Üniversitesi'ndeki Yüksek Lisans Programı'nı başarıyla sürdürmektedir.

Süreç FMEA Formu

Madde: 2		Model(yıl)/araç: 5		Proses Sorumlusu : 3		Sayfa: /		FMEA No : 1						
Çekirdek Ekip : 8		12		13		Kilit Tarih : 6		Hazırlayan : 4						
15		18		Tarih : 7		Rev : 22								
Nesne Fonksiyon 9	Olası Hata Türü 10	Hatanın Olası Etkileri 11	Siddet Sınıf	Hatanın Olası Sebepleri 14	Olasılık	Varolan Proses Kontrolleri		RÖS	Önerilen Faaliyetler 19	Sorumlusu ve Hedef Tamamlanma Tarihi 20	Faaliyet Sonuçları			RÖS
						(Önleme) 16	(Aydınlatma) 16				Gerçekleşen Faaliyetler 21	Siddet	Olasılık	
								17						

Şekil 4.5. Süreç FMEA Formu

DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, “Potential Failure Mode And Effects Analysis(FMEA)”, 2001.

TOFAŞ DIŞ MUHAFAZALAR GRUBU KALİTESİZLİK MALİYETİ TABLOSU

SIRA NO	İLAVE MALİYET TİPİ	İLAVE MALİYETLER (YTL/AY)												TOPLAM (YTL)	
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık		
1	ISKARTA ÜRÜN	0	0	730	304	182	122	0	61	0	0	0	0	0	1,398
2	KALİTE PERSONELİ	0	0	65	51	37	33	0	0	0	0	0	0	0	187
3	FAZLA ÜRETİM MESAİSİ	0	0	149	124	99	74	0	0	0	0	0	0	0	446
4	AŞIRI (PAHALI) NAVLUN	0	0	24	24	24	24	24							118
TOPLAM (YTL)		0	0	967	503	342	252	24	61	0	0	0	0	0	2,149

Tablo 5.5. FMEA'nın Zamanında Yapılmaması Nedeniyle Oluşan Kalitesizlik Maliyeti Örnek Tablosu

Iskarta ürün ilave maliyeti, müşteri den geri gelen ve/veya firma içerisinde tespit edilen iskarta parçalardan tamamıyla kullanılmaz olan ürünlerin maliyeti ile yeniden işleme gerektiren ürünlerin yeniden işleme maliyetlerinin toplamıdır.

Kalite personel ilave maliyeti ise müşteri den hata bildirimini yapıldığında, gerek müşteri hattında gerekse firmanın kendi içerisinde yapılan tarama, ayıklama faaliyetleri için harcanan işçilik maliyetlerinin toplamıdır.

Fazla üretim mesaisi maliyeti de, müşteri den ve/veya firma içerisinde hatalı ürünler tespit edildiğinde bunların yerine uygun ürünün üretilmesi için planlama dışında gerçekleşen üretimlere ait işçilik maliyetlerin toplamıdır.

Aşırı (pahalı) navlun maliyeti ise müşteri den ve/veya firma içerisinde hatalı ürünler tespit edildiğinde bunların yerine uygun ürünün üretilmesi için geçecek sürede müşteri hattına zamanında sevkiyat yapılması için ekstradan yapılan lojistik harcamalarıdır.

Tablo 5.4. FMEA'nın Zamanında Yapılmaması Nedeniyle Oluşan Kalite Verilerinin Karşılaştırma Tablosu

OTOSIMA LTD.ŞTİ.		TOFAŞ DIŞ MUHAFAZALAR GRUBU KALİTE VERİLERİ KARŞILAŞTIRMA TABLOSU													
		ÜRÜN	TOFAŞ HEDEFİ	TANIM	AYLAR										
DIŞ MUHAFAZALAR	Yıl Sonu Ceza Puan Hedefi 500	IDP	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	480
		KOD SAYISI (D)	48	55	60	53	55	67	94	102	112	99	93	98	936
	IDP/(D*1000)	0	0	2,667	2,264	1,455	1,194	0	392	0	0	0	0	0	513
	Yıl Sonu PPM Hedefi 250	SEVK MİKTARI	0	25	2,716	2,637	3,903	5,010	5,354	2,967	5,240	5,430	5,220	5,462	43,964
		İADE MİKTARI	0	0	24	10	6	4	0	2	0	0	0	0	46
PPM	-	0	8,837	3,792	1,537	798	0	674	0	0	0	0	0	1,046	

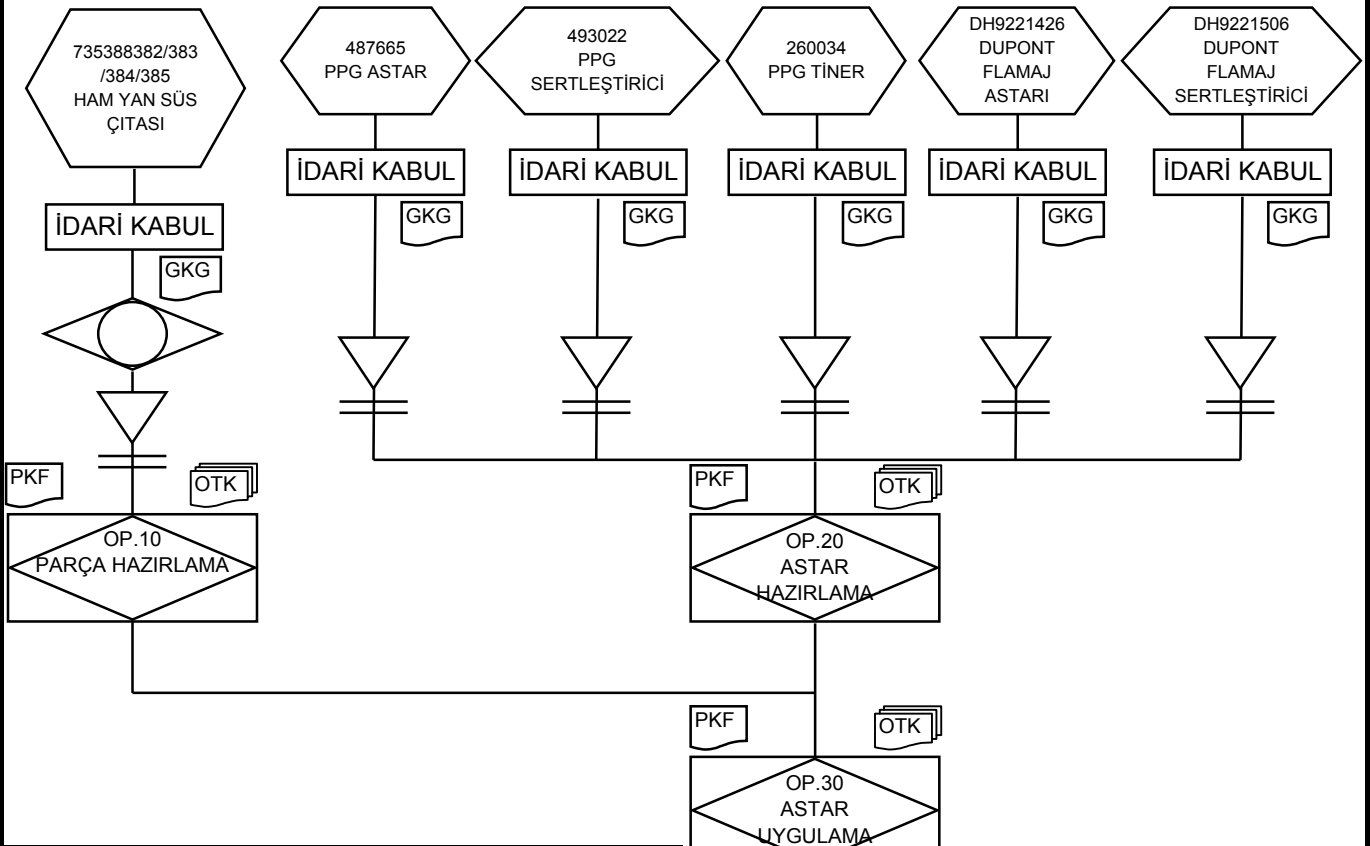
Tablo 5.5. FMEA'nın Zamanında Yapılmaması Nedeniyle Oluşan Kalitesizlik Maliyeti Tablosu

OTOSIMA LTD.ŞTİ.		TOFAŞ DIŞ MUHAFAZALAR GRUBU KALİTESİZLİK MALİYETİ TABLOSU													
ÜRÜN	SIRA NO	İLAVE MALİYET TİPİ	İLAVE MALİYETLER (YTL/AY)												TOPLAM (YTL)
DIŞ MUHAFAZALAR	1	ISKARTA ÜRÜN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	1,398
	2	KALİTE PERSONELİ	0	0	65	51	37	33	0	0	0	0	0	0	187
	3	FAZLA ÜRETİM MESAİSİ	0	0	149	124	99	74	0	0	0	0	0	0	446
	4	AŞIRI (PAHALI) NAVLUN	0	0	24	24	24	24	24						118
TOPLAM (YTL)			0	0	967	503	342	252	24	61	0	0	0	0	2,149

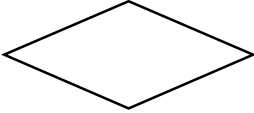
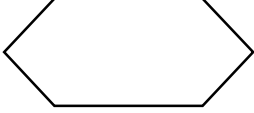
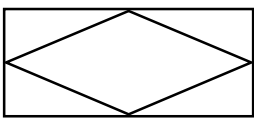



ÜRÜN ADI : 223 DOBLO RST KAPI YAN SÜS ÇİTASI ÖN/ORTA DX/SX (735409057-58-59-60) Sayfa:1/2

ÜRÜN TANIMI : 223 DOBLO RST KAPI YAN SÜS ÇİTASI ÖN/ORTA DX/SX - ASTARLI YARI MAMUL PROSESİ

HAZIRLAYAN	HAZIRLAMA TARİHİ	DEĞİŞİKLİK TARİHİ	DEĞİŞİKLİK NO	ONAY
TEKNİK DEP.	12.06.2005	-	-	



TANIMLAR

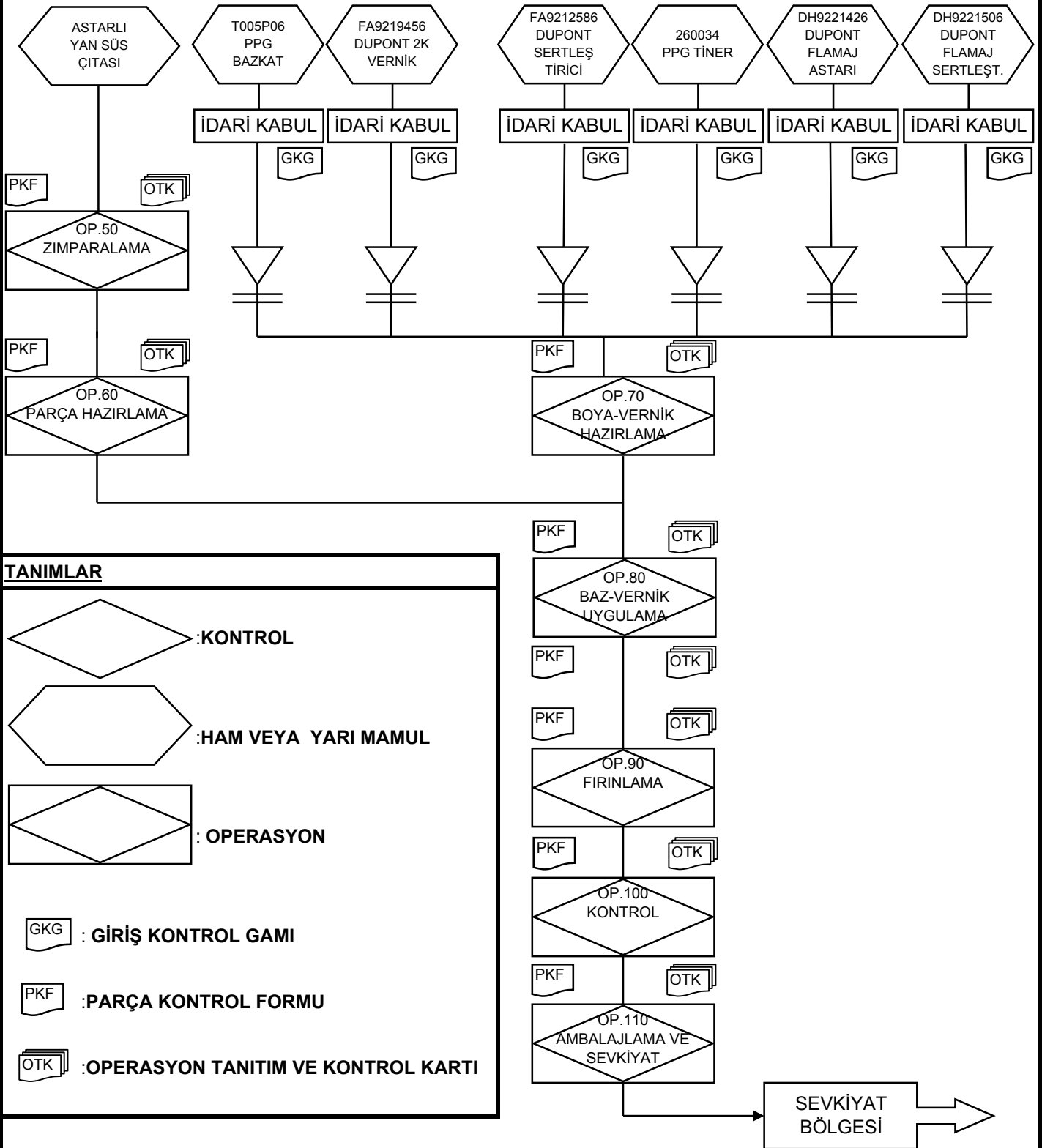
-  : KONTROL
-  : HAM VEYA YARI MAMUL
-  : OPERASYON
-  : GİRİŞ KONTROL GAMI
-  : PARÇA KONTROL FORMU
-  : OPERASYON TANITIM VE KONTROL KARTI

HAZIRLAYAN	HAZIRLAMA TARİHİ	DEĞİŞİKLİK TARİHİ	DEĞİŞİKLİK NO	ONAY
KALİTE GÜVENÇE	25.03.2002	-	-	F03P10

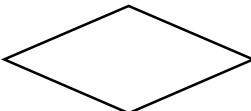

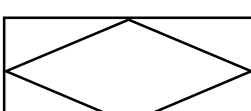



ÜRÜN ADI : 223 DOBLO RST KAPI YAN SÜS ÇİTASI ÖN/ORTA DX/SX (735409057-58-59-60) Sayfa:2/2

ÜRÜN TANIMI : 223 DOBLO RST KAPI YAN SÜS ÇİTASI ÖN/ORTA DX/SX - BOYALI MAMUL PROSESİ

HAZIRLAYAN	HAZIRLAMA TARİHİ	DEĞİŞİKLİK TARİHİ	DEĞİŞİKLİK NO	ONAY
TEKNİK DEP.	12.06.2005	-	-	



TANIMLAR

-  : KONTROL
-  : HAM VEYA YARI MAMUL
-  : OPERASYON
-  : GİRİŞ KONTROL GAMI
-  : PARÇA KONTROL FORMU
-  : OPERASYON TANITIM VE KONTROL KARTI

HAZIRLAYAN	HAZIRLAMA TARİHİ	DEĞİŞİKLİK TARİHİ	DEĞİŞİKLİK NO	ONAY
KALİTE GÜVENCE	25.03.2002	-	-	F03P10

Madde: DOBLO RST YAN SÜS ÇITASI

Model(yıl)/araç: 2005 / FIAT Doblo

Süreç Sorumlusu : Otosima Ltd.Sti.

FMEA No : 2005-004

Hazırlayan : İlker TOKLU/Kalite.Dept.

Çekirdek Ekip : İ.TOKLU,E.KORU,B.ERTÜRK,M.SAMUR,G.EREL,F.DÖNMEZ

Kilit Tarih : 12.07.2005

Tarih : 28.06.2005

Rev : 01

Nesne Fonksiyon	Olası Hata Türü	Hatanın Olası Etkileri	Siddet	Sınıf	Hatanın Olası Sebepleri	Olasılık	Varolan Süreç Kontrolleri		Keşfetme	RÖS	Önerilen Faaliyetler	Sorumlusu ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Faaliyet Sonuçları				
							(Önleme)	(Ayıklama)					Gerçekleşen Faaliyetler	Siddet	Olasılık	Keşfetme	RÖS
Parça Hazırlama 10.1	Deformasyon ve buton yuvasının kırılması	Parçanın araç üzerine monte edilememesi	8	+	-Aparatın buton yuvasına direk olarak temas etmesi	5	Görsel Kontrol	Parça silme operasyonu sırasında ara kontrol	3	120	Buton yuvasına direk olarak temas etmeyecek aparat tasarlanması	TEKNİK DEP. BAKIM 26.05.2005	-Buton yuvasına direk olarak temas etmeyecek düzeyde tasarlanmış aparat kullanılmaya başlandı	8	2	2	32
Parça Hazırlama 10.2	Parçaların iyi temizlenmemesi	Boya yapışma zaaflığının oluşması	8	+	-Operatör hatası -Uygun olmayan silme bezi kullanımı	3	-Farklı renkte, uygun silme bezi kullanımı	-Deiyonize hava tutma sırasında temizlik kontrolü -Uygun silme bezi görsel uyarısı	2	48	Faaliyete gerek görülmedi						
Boya(Astar) Hazırlama 20.1	Karışımın teknik fişe uygun olmaması	Astar Performansının düşük olması	5	+	Ekipmanın temiz olmaması	3	1. ve 2. Seviye Bakım programına uygun hareket etmek	Ürün denetimi	2	30	Faaliyete gerek görülmedi						
Astar Uygulama 30.1	Toz oluşumu	Görsel uygunsuzluk	5	+	Astarın uygun filtre ile süzülmemesi	3	Markalanmış tanımlı filtreler kullanımı	Astar uygulamada görsel kontrol	2	30	Faaliyete gerek görülmedi						
Astar Uygulama 30.2	Krater oluşumu	Görsel uygunsuzluk	5	+	Parçaların iyi temizlenmemesi	3	-Farklı renkte, uygun silme bezi kullanımı	-Kabin girişinde temizlik kontrolü	2	30	Faaliyete gerek görülmedi						
Fırınlama 40.1	Parça üzerindeki uygulamaların kurumaması	Görsel uygunsuzluk	7	+	Fırın parametrelerinin uygunsuzluğu	3	Sabit fırın sıcaklığı	Fırın sıcaklıklarının kontrolü	6	126		TEKNİK DEP. BAKIM 30.05.2005	Fırın görsel ve sesli uyarı sistemi (otomatik kontrol) eklendi.	7	3	2	42
Zımparalama 50.1	Yüzeyde zımpara çiziği	Görsel uygunsuzluk	8	+	-Operatör hatası -Uygun olmayan zımpara kullanımı	3	Görsel tanımlı uygun zımpara kullanımı	%100 görsel kontrol	2	48	Faaliyete gerek görülmedi						