

152162

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TASARIMDA HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ
VE BİR UYGULAMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
End. Müh. Özgür Ömer AYDIN
(507001211)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Kasım 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Kasım 2004**

152162

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Nahit SERARSLAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ataç SOYSAL
Y.Doç.Dr. Bersam BOLAT**

KASIM 2004

ÖNSÖZ

Hata Türü ve Etkileri Analizi gibi güncel bir konuda bana çalışma olanağı veren, tez süresince her türlü desteği gösteren Hocam Sayın Prof. Dr. M. Nahit Seraslan'a, uygulama esnasında yardımları ve katkılarından dolayı AMPER Elektrik İnşaat ve Sanayi A.Ş. personeline, özellikle Proje Müdürü Gökhan Akman'a, tez hazırlık aşamasında benden desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Senem Erşahin, Önder Sami Atay, Mehmet Oğuz Baydar'a ve bana sürekli destek veren kıymetli aileme teşekkür ederim.

Kasım, 2004

Özgür Ömer Aydın

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1 GİRİŞ	1
2 HATA KAVRAMI	3
2.1 Hata Kavramı	3
2.2 Hataları Sınıflandırma	4
2.2.1 Meydana Geldiği Aşamaya Göre Hatalar	4
2.2.2 Sonuçlarına Göre Hatalar	5
2.2.3 Zamana Göre Hatalar	5
2.2.4 Nedenlerine Göre Hatalar	5
3 MÜHENDİSLİK TASARIMI KAVRAMI	8
3.1 Mühendislik Tasarımı	8
3.1.1 Tasarım Hataları ve Genel Sebepleri	9
3.2 Tasarım Aşamaları	9
3.3 Tasarım Fonksiyonları	11
3.4 Tasarım Ekibi ve Sorumlulukları	12
3.5 Tasarım Gözden Geçirmeleri	12
3.6 Güvenilirlik İçin Tasarım ve Tasarım Güvenilirliği Kontrol Listesi Maddeleri	13
3.7 Tasarım Sorumluluğu	15
4 GÜVENİLİRLİK KAVRAMI	16
4.1 Güvenilirlik Tanımı	16
4.2 Ürün Ömür Eğrisi	17
4.3 Güvenilirlik Yönetimi	18

4.3.1 Güvenilirlik Programıyla İlgili Sorumluluklar.....	18
4.3.2 Güvenilirlik Programları İçin Askeri Şartname	19
4.3.3 Ürün Yaşam Döngüsünde Güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik Yönetimi	21
4.3.3.1 Kavram ve Tanımlama Fazı	21
4.3.3.2 Kazanım Fazı	22
4.3.3.3 Operasyon ve Bakım Fazı	22
4.3.3.4 Elden Çıkarma Fazı	23
4.3.4 Güvenilirlik Denetimi ve Güvenilirlik Program Yönetimindeki Güçlükler	23
4.3.5 Güvenilirlik Mühendisliği Sorumlulukları	24
4.3.5.1 Güvenilirlik Mühendisliği Departmanı Sorumlulukları	25
4.3.5.2 Sürdürülebilirlik Mühendisliği Departmanı Sorumlulukları	25
4.3.6 Güvenilirlik Personeli	26
4.4 Güvenilirlik Analizleri	27
4.4.1 Hata Ağacı Analizi	27
4.4.2 Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP)	29
4.4.3 Kök Sebep Analizi	29
4.4.4 Sebep Sonuç Diyagramı	30
4.4.5 Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)	30
5 FMEA KAVRAMI	32
5.1 FMEA' nın Tanımı	32
5.2 FMEA' nın Tarihçesi	33
5.3 FMEA' nın Uygulanma Nedenleri ve Özellikleri	36
5.4 FMEA Projesini Başlatma	41
5.5 FMEA Projesini Sona Erdirme	44
5.6 FMEA Çalışma Ekibini Oluşturma	44
5.7 FMEA Yararları	46
5.8 FMEA Çeşitleri	46
5.8.1 Sistem FMEA	48
5.8.2 Tasarım FMEA	49
5.8.3 Proses FMEA	53
5.8.4 Servis FMEA	55
6 TASARIM FMEA	57
6.1 Tasarım FMEA' nın Tanımı	57
6.2 Tasarım FMEA' nın Kapsamı	57
6.3 Karar Alma Süreci ve Hazırlık Çalışmaları	58
6.4 FMEA Takımını Oluşturma	59
6.5 FMEA Uygulama Süreci	61
6.5.1 Analiz Etme	62
6.5.1.1 Sistemin Analiz Edilmesi ve Uygulanacak Yaklaşımın Seçimi	62
6.5.1.2 Fonksiyonların Belirlenmesi	63
6.5.1.3 Olası Hatalar	66
6.5.1.4 Olası Hata Etkileri	68
6.5.1.5 Olası Hata Nedenleri	69
6.5.2 Değerlendirme	69
6.5.2.1 Oluşma (O)	71

6.5.2.2 Şiddet (S).....	73
6.5.2.3 Tespit (T).....	74
6.5.2.4 Risk Öncelik Sayısı (ROS)	75
6.5.3 Sonuçların Değerlendirilmesi	78
6.5.3.1 Düzeltici Önlemler	78
6.5.3.2 İzleme	78
6.5.3.3 Doğrulama.....	79
7 UYGULAMA	81
7.1 Firmanın Tanıtımı	81
7.2 Yıldırım Tanımı	82
7.3 Yıldırım Korunma Yolları.....	84
7.3.1 Yakalama Çubuğu.....	84
7.3.2 Faraday Kafesi	84
7.3.3 Gergi Teli Metodu.....	85
7.3.4 Radyoaktif Paratoner Sistemi.....	85
7.3.5 Aktif Paratoner Sistemi	86
7.4 Ürünün Tanıtımı.....	87
7.5 FMEA Ekibi ve Çalışma Yöntemi	89
7.6 FMEA çalışması.....	90
7.7 Sonuç.....	99
8 SONUÇLAR VE TARTIŞMA	103
KAYNAKÇA.....	105
ÖZGEÇMİŞ	108

KISALTMALAR

CNF	Kümülatif Hataların Toplamı (İng: Cumulative Number of Failures)
FMEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi (İng: Failure Modes and Effect Analysis)
HACCP	Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (İng: Hazard Analysis and Critical Control Points)
İK	İnsan Kaynakları
IPK	İstatistiksel Proses Kontrol
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü (İng: International Organization for Standardization)
O	Oluşma
QFD	Kalite Fonksiyonu Açılımı (İng: Quality Function Deployment)
QS	Kalite Standardı (İng: Quality Standards)
ROS	Risk Öncelik Sayısı
S	Şiddet
T	Tespit
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TS/ISO	Teknik Spesifikasyon/ Uluslararası Standardizasyon Örgütü (İng: Technical Specification/ International Organization for Standardization)
SAE	Society of Automotive Engineers
AIAG	Automotive Industry Action Group
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités
BS	British Standard
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
DIN	Deutsches Institut für Normung

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1: Tasarım Akışı.....	10
Şekil 4.1: Algılanan Risk Kaynakları.....	16
Şekil 4.2: Ürün Ömür Eğrisi	17
Şekil 4.3: Güvenilirlik Analizi Tipleri	28
Şekil 4.4: Güvenilirlik Analizi Uygulamaları	28
Şekil 4.5: Sebep Sonuç Diyagramı	31
Şekil 5.1: FMEA İlişkileri.....	38
Şekil 5.2: QS 9000 Ana Unsurları	40
Şekil 5.3: Toplam Kalite Sisteminde FMEA' nın Rolü.....	41
Şekil 5.4: Ürün Mühendisliği ve FMEA' nın Yol Haritası.....	42
Şekil 5.5: Tasarımın Değerlendirilmesi	43
Şekil 5.6: Reaktif (Tepkisel) İle Proaktif (Önleyici) Sistemin Karşılaştırılması	45
Şekil 5.7: FMEA Çeşitleri.....	47
Şekil 5.8: Sistem ve Alt Sistem Arasındaki Etkileşim.....	49
Şekil 5.9: Parça Geliştirme.....	52
Şekil 5.10: Tasarım FMEA İle Proses FMEA' nın Sürekli Gelişime Etkisi.....	55
Şekil 6.1: FMEA Yönetimi	59
Şekil 6.2: FMEA Uygulama Süreci	61
Şekil 6.3 Yaklaşımların Şematik Gösterimi.....	63
Şekil 6.4: Hata Nedeni—Hata Türü—Hata Etkileri İlişkileri.....	70
Şekil 6.5: FMEA Uygulama Sürecindeki Analiz Etme ve Değerlendirme Basamakları Arasındaki İlişki	71
Şekil 6.6: ROS Hesaplaması	76
Şekil 6.7: Tasarım FMEA Formu	80
Şekil 7.1: Elektrostatik Aktif Paratoner	87
Şekil 7.2: Elektrostatik Aktif Paratoner İç Yapısı	88
Şekil 7.3: Elektrostatik Aktif Paratoner Montajı	89
Şekil 7.4: ROS Dağılımı	99
Şekil 7.5: Şiddet Dağılımı.....	99
Şekil 7.6: Oluşma Dağılımı.....	100
Şekil 7.7: Tespit Dağılımı	100
Şekil 7.8: Hata Türlerinin Sebeplerinin Oransal Dağılımı.....	101
Şekil 7.9: Montaj Kontrol Listesi.....	102

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Ürün Hatalarının Genel Sebepleri	9
Tablo 5.1: FMEA Yayınlarından Bir Kısımının Listesi.....	35
Tablo 6.1: Fonksiyon Örnekleri	65
Tablo 6.2: Oluşma Puanlandırma Rehberi	72
Tablo 6.3: Şiddet Puanlandırma Rehberi	73
Tablo 6.4: Tespit Puanlandırma Rehberi	74
Tablo 6.5: Uç Noktalar.....	77
Tablo 6.6: Tasarım FMEA Düzeltici Faaliyetleri	79
Tablo 7.1: FMEA Ekibi	90
Tablo 7.2: Kullanılan Parçalar ve Fonksiyonları	91
Tablo 7.3: FMEA Tablosu	92



TASARIMDA HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ VE BİR UYGULAMA

ÖZET

İşletmeler ürettiği ürünlerin tasarım aşamasında belirlenen fonksiyonlarını yerine getirdiğini ve kullanıcılara herhangi bir zarar vermediğini garanti altına almalıdır. Bu aşamada ürün güvenilirliği de ön plana çıkmaktadır.

Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ürünlerde meydana gelebilecek hataları belirleyen bir tekniktir. FMEA, şu şekilde tanımlanabilir: Tasarım, proses, sistem ve hizmet ile ilgili bilinen ve/veya olası hataları, yanlışları ve problemleri müşteriye ulaşmadan belirlemeyi, tanımlamayı ve ortadan kaldırmayı amaçlayan mühendislik tekniğidir.

Bu çalışmada FMEA' nın tasarım aşamasında uygulanması açıklanmaktadır. Tasarım FMEA' nın temel amacı üründe meydana gelebilecek potansiyel hataları tasarım aşamasında belirlemek ve bunları önlemektir.

Tasarım FMEA uygulanırken ilk aşama ürünün fonksiyonlarının tespitidir. Burada temel soru "Bu ürün ne işe yarar?" olmalıdır. Ürünün fonksiyonlarının belirlenmesinde sonra yapılacak çalışma bu fonksiyonlarda ne tür hata türlerinin meydana gelebileceğini araştırmaktır. Hata türleri belirlendikten sonra, her bir hata türüne ilişkin üç kriter üzerinde yoğunlaşmak gerekir. Bunlardan ilki hata türü sonucu oluşacak hataların etkisidir. Etkiye şiddetine göre 1 ile 10 arası bir puan verilerek Şiddet (S) değeri belirlenir. Her hata türünün sadece bir adet etkisi olmayabilir. İkinci önemli kriter ise bu hata türlerinin sebeplerinin belirlenmesidir. Yine sebeplere de oluşma olasılığına göre 1 ile 10 arasında değişen Oluşma (O) puanı verilir. Üçüncü ve son olarak da her hata türünün herhangi bir şekilde kontrol eden bir tasarım kontrolünün belirlenmesidir. Bu kontrollere de yine 1 ile 10 arasında değişen Tespit (T) puanı verilir. Elde edilen bu üç kriterin puanları çarpılarak ilgili hata türünün Risk Öncelik Sayısı (ROS) belirlenir. Risk Öncelik Sayılarının incelenmesi sonucu kritik hata türlerinin ya etkisini azaltacak ya da oluşma olasılığını azaltacak ya da tespit edilebilirliğini artıracak önlemler alınır. Bu önlemlerden sonra kriterler yeniden puanlandırılır, Risk Öncelik Sayısı yeniden

hesaplanır ve sistemdeki iyileşme gözlemlenir. Böylelikle Tasarım aşamasında ürünün potansiyel hataları önlenmiş olur.

Bu çalışmada AMPER A.Ş.' de gerçekleştirilen bir tasarım FMEA çalışmasına yer verilmiştir. Yapılan tasarım FMEA çalışması bir bina için paratoner tasarımını kapsamaktadır. Bu çalışmada yukarıda belirtilen metotlar uygulanarak öncelikle ürünün fonksiyonları belirlenmiş ve bu fonksiyonlara ilişkin ne tür hata türleri meydana gelebileceği tespit edilmiştir. Sonraki aşamalarda ise hata türlerinin etkisi, sebebi ve kontrolleri tespit edilerek, her bir hata türünün Risk Öncelik Sayısı hesaplanmıştır. Risk Öncelik Sayısı 100' ün üzerinde çıkan sekiz adet hata türünden yedisinin tespit edilebilirliğini artırıcı ve birinin oluşma olasılığını azaltıcı tedbirler önerilmiş ve firmada uygulanmıştır. Önlemler uygulandıktan sonra yeni Risk Öncelik Sayıları hesaplanmış ve bütün Risk Öncelik Sayılarının 100' ün altında olduğu görülmüştür. Böylece firmanın ürün tasarımı ile ilgili hataları azaltılmıştır.



DESIGN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS AND AN IMPLEMENTATION

SUMMARY

Companies should assure that their products fulfil the design requirements and do not damage or injure users. Product reliability concept becomes an important point at this stage.

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is a technique that determines potential failures of products. FMEA, is an engineering technique that aims to determine, identify and prevent known or potential failures before serving to customer.

In this study, implementation of FMEA on design process is explained. The main objective of design FMEA is to determine and prevent potential failures at design stage.

The very first step of implementing design FMEA is to designate functions of product. Main question when designating functions should be “What is this product produce for?”. After designating functions, potential failures of functions are detected. When a failure mode is detected, three factors have to be determined about that failure mode. The first factor is effects of failures. When the effects of failure are determined, Severity (S) values are obtained by giving points to effect of failure between 1 to 10. Second factor is causes of failures. When the cause of failure is determined, Occurrence (O) values are obtained by giving points to probability of realizing of failure between 1 to 10. Third and the last factor is control of failure and by giving points to detect of failures, Detection (D) values are obtained. After determining these factors, the values of each factor for one failure mode are multiplied and Risk Priority Number (RPN) is calculated. After evaluating Risk Priority Numbers, preventive action are started for critic functions in order to reduce effect or reduce probability of occurrence or increase detection of failure. After these preventive action factors are re-evaluated and new points are given and Risk Priority Numbers are re-calculated and improvement of system is observed. By this way design failures are prevented.

In this study, a design FMEA is implemented to AMPER A.Ş.'s products. Scope of design FMEA is the design of lightning equipments for each building. By implementing Design FMEA in AMPER A.Ş., first of all the functions of products and potential failure

mode for each function is determined. Then the effects of failures, causes of failures and control methods of failures are identified in order to calculate Risk Priority Numbers. For eight failure modes Risk Priority Numbers values are found to be larger than 100. For seven of these eight failure modes preventive actions are taken for increasing the probability of detection of failures and for the other preventive action is taken for reducing probability of occurrence. And new Risk Priority Numbers are calculated after implementing preventive actions and none of them is more than 100. Consequently failures in the design stage are reduced.



1 GİRİŞ

Her sektörde arzın arttığı ve iletişim teknolojilerinin çok geliştiği günümüz ekonomisinde işletmeler varlıklarını devam ettirebilmek için sadece ucuz mal ya da hizmet üretimini değil, hem ucuz hem de müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak kalite düzeyinde ürün ya da hizmet üretmelidir.

Rekabet avantajını sağlayabilmek, Deming' in bahsettiği sadık müşteriler kazanabilmek için işletmeler ürünlerinin hem maliyetlerini aşağıya çekmeli hem de ürünlerin müşteri beklentilerini eksiksiz karşılayacağını garanti etmelidir. Dr. Deming yöneticilere verdiği öğütlerde gerçek karın ürünlerinizi bir kez alan çok sayıda müşteriden değil, sizin ürünlerinize güvenen ve her defasında sizin ürünlerinizi tercih eden sadık müşterilerden sağlanacağını söylemiştir. Müşterilerin firmanın ürünlerine sadık olabilmesi için, ürünlerin müşteriye memnun etmesi ve kullanım aşamasında müşteriye maddi ya da manevi bir zarar vermemesi gerekmektedir.

Görüldüğü gibi ayakta kalabilmek artık sadece kaliteli ürün üreterek mümkün olmakta, aksi halde işletmeler sadece bir kaç sene ayakta kalabilmektedir. Kalite seviyesi düşük ürün üretmek sadece işletme için bir zarar değil aynı zamanda hem toplum için hem de ülke için zararları vardır.

Kaliteli ürün üretebilmek ve ürünlerde her defasında aynı kaliteyi sağlamak için ürünlerde meydana gelebilecek potansiyel hataları tespit etmek ve bunları önlemek için gerekli tedbirler almak gerekmektedir. Bu çalışmaları ürün henüz piyasaya çıkmadan hatta tasarım aşamasında gerçekleştirmenin önemi açıktır. Şayet bu çalışmalar daha sonraki aşamalarda gerçekleştirilirse müşteriye ürün üzerinde test yapma imkanı sunulur ve bu da müşteri memnuniyetsizliğinin temelinde yatan sebeplerden biridir.

Bu çalışmada konu edilen Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ürünlerde meydana gelebilecek herhangi fonksiyon bozukluğu ya da fonksiyon eksikliğini önceden tespit ederek, ürünlerin müşteriye sevk edilmeden hataların önlenmesini amaçlamaktadır. Tasarım FMEA ürünlerin üretim süreci başlamadan gerçekleştirildiği için ürünün fonksiyonlarının nasıl bozulabileceği konusunda her türlü araştırmayı içermektedir.

Bu çalışmanın ikinci bölümde, hata kavramı incelenmekte ve tanımların yanı sıra hata çeşitlerinin meydana geldiği aşamaya, sonuçlarına, zamana ve nedenlerine göre sınıflandırılması yapılmaktadır.

Üçüncü bölümde, mühendislik tasarımı tanımından, bir tasarımın nasıl gerçekleştirileceğinden ve tasarım aşamalarından bahsedilmektedir.

Dördüncü bölümde, ürün güvenilirliği kavramı anlatılmakta, güvenilirlik yönetiminin nasıl olması gerektiğinde bahsedilmekte ve FMEA dışındaki diğer güvenilirlik analizlerinden bahsedilmektedir.

Beşinci bölümde, FMEA tekniğine genel bir bakış, FMEA' nın tanımı, tarihçesi ve çeşitlerinden bahsedilmektedir.

Altıncı bölümde, Tasarım FMEA tanımında ve uygulama süreci açıklanmaktadır.

Yedinci bölümde, AMPER Elektrik San. ve Tic. A.Ş.' de gerçekleştirilmiş bir paratoner tasarımı sürecine tasarım FMEA uygulamasından bahsedilmektedir.

Sekizinci bölümde, Tasarım FMEA konusunu ve uygulama çalışmasının sonuçları anlatılmakta ve değerlendirmeler ve öneriler sunulmaktadır.

2 HATA KAVRAMI

İnsanların, makinaların, malzemelerin, yöntemlerin ve benzeri ürün veya hizmet faktörlerinin istenen performans ve özellikleri sağlayamamasından dolayı çıktılarda meydana gelen istenmeyen değişmelere hata denilmektedir. Yaşamın doğasında değişkenlik vardır. Değişkenliğin var olduğu sistemlerde belirsizlik kaçınılmazdır.

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

- Kaynağı belirlenebilen değişkenlik,
- Rasgele değişkenlik şeklinde iki sınıfta ele alınabilir.

Kaynağı belirlenebilen değişkenlik, sistemin bir parçası olmayan, her zaman gözükmeyen, özel durumlardan dolayı ortaya çıkan, kaynağı belirlenebilen, sistemin davranışında değişme olarak karşımıza çıkan değişkenliktir.

Rasgele değişkenlik, belirli bir nedenle ilişkilendirilmeyen 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.

Genellikle sistemlerdeki değişkenliğin tamamen ortadan kaldırılması istenir fakat bu çok güç olduğundan, mümkün olduğu kadar en aza indirmek hedeflenir. Hedef sistemlerde aynı girdilerle, birbirleriyle çok farklı olmayan çıktılar üretmektir. **(Boran, 1996)**

2.1 Hata Kavramı

Hata, kısaca bir birimin sahip olması gereken özelliklerinden bir sapma olarak tanımlanır. Bir sistem, bir ürün için hata, istenen işlevlerini yerine getirememe durumudur. Bu durumda genelleştirilmiş ifadeyle hata, tanımlanan işlevlerini yerine getirme kabiliyetindeki kayıp olarak tanımlanabilir. **(Baraçlı, 1998)**

Diğer bazı hata tanımları ise **(Boran, 1996)**;

- Birimin, istenen işlevini yerine getirmek için işlevsel kabiliyetinin bitimi,

- Belirlenen limitlerle istenen işlevini yerine getirmek için sistem veya sistem bileşeninin yeterli olmayışı,
- Program isteklerinden, program işlemenin sapması şeklindedir

Müşteride güven duygusunu yaratmak, kalitede süreklilik, fiyat—kalite—termin açılarından daha iyi rekabet edebilme, yüksek verimlilik vb. nedenlerden dolayı sistem içerisinde oluşan veya oluşma ihtimali bulunan hataların tespitinden daha ziyade çalışmalar ortadan kaldırılmaya yönelik olmalıdır.

İşletmelerin bütün fonksiyonlarının birbirleri ile olan ilişkilerindeki uyum işletmenin faaliyetlerini sürdürebilmesi için hayati önem taşımaktadır. Hedeflere ulaşmak veya aşmak için özellikle imalat işletmeleri pazarlama ve ürün gerçekleştirme fonksiyonlarını birbirleri ile yakın işbirliğine zorlamalıdır. Pazarlama, müşterilerin taleplerini belirleyen ve yine ürün gerçekleştirme sonrası fiziksel olarak şekillenen ürünün beklentilere ne kadar uyabildiğini araştıran ve ölçen bölümdür. Müşteri odaklı olan pazarlama bölümü, müşteri gereksinimlerini mükemmel yakın bir şekilde, üretimi de içerisine alan ürün gerçekleştirme faaliyetlerine aktarmakla yükümlüdür. (Boran, 1996)

2.2 Hataları Sınıflandırma

Kaynaklarda farklı şekillerde çeşitlendirilen hatalar genel olarak meydana geldiği aşamaya göre, sonuçlarına göre, zamana göre ve nedenlerine göre sınıflandırılabilir.

2.2.1 Meydana Geldiği Aşamaya Göre Hatalar

Meydana geldiği aşamaya göre hatalar şu şekilde sınıflandırılabilir (Baraçlı, 1998);

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

2.2.2 Sonuçlarına Göre Hatalar

Sonuçlarına göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (**Baraçlı, 1998**);

- Felaket getirici hata, ölüme ve çok büyük sistem hasarına yol açan hatalardır,
- Kritik hata, ciddi yaralanma, mal hasarına ve küçük sistem hasarına neden olabilen hatalardır,
- Marjinal hata, küçük yaralanma, küçük mal hasar veya küçük sistem hasarına neden olan hatalardır,
- Küçük hata, yaralanma, mal hasarına neden olmayan planlanmış bakım ve tamir gerektiren hatalardır,
- Önemsiz hata, etkileri hissedilmeyen hatalardır.

2.2.3 Zamana Göre Hatalar

Zamana göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (**Baraçlı, 1998**);

- Ani hatalar, ürün veya sistemin zorlanması sonucu işlevlerini aniden kaybetmesi sonucu ortaya çıkan hatalardır,
- Kademeli hatalar, aşınma ve eskimenin etkilerinin bir araya gelmesiyle zamanla ortaya çıkan hatalardır.

2.2.4 Nedenlerine Göre Hatalar

- Tasarım hataları, ürün ve tasarım amaçlarını, performans isteklerini ve müşteri beklentilerini karşılamadığında ortaya çıkan hatalar olarak tanımlanabilir. Ürünün temel özellikleri olan yapı, fonksiyon ve görünüş özelliklerinin sağlanması sırasında (ürün gerçekleştirme ve/veya üretim) aşağıdaki hatalar oluşabilmektedir. (**Boran, 1996**)
- Malzeme hataları, malzeme üzerinde işlem yapan sistemin geometrisinin, özelliklerinin değişmesi veya imalat, depolama elde tutma, taşıma, muayene, kullanım ve tamir işlemleri sırasında aşırı kuvvet uygulaması sonucunda, zorlanma ile oluşur. Malzeme hatalarını iki sınıfta toplamak mümkündür . İlki, aşırı kullanma hataları, diğeri ise aşınma—eskime hatalarıdır.

- Ölçme hataları, hesaplanan değerle ölçülen cismin gerçek değeri oranındaki farktır (ölçüleri cismin gerçek ölçü değeri çok seyrek olarak bilinir). Bilimsel araştırmaların, sonuçları sayısal büyüklüklerle ifade edilebilen ölçmeler olmaksızın yürütülmesi düşünülemez. İmalatta, mamul veya parçalar için dizayn aşamasında saptanan ölçülerin şekil verme işlemleri sonunda gerçekleşme derecesinin bilinmesi zorunludur. Ayrıca işlemlerin uygulanması esnasında yapılan ara ölçmeler, tezgah ve takımların ayarlanması, işlem süresinin gereksiz yere uzamaması ve dolayısı ile maliyetlerin düşürülmesi açısından büyük önem taşır. Ölçme sonuçlarındaki değişimin; biri imalat işlemleri diğeri ölçme aletleri olmak üzere iki kaynağı vardır. Ölçme tekniğinin temel sorunu, değişmelerin ne kadarının hangi kaynaktan doğduğunu tespit etmektir.
- Karar verme hataları, elde hazır bulunan tüm seçeneklerden, birini seçme sürecidir. Karar vermede amaç, sistemin çok arzu edilen bir duruma gelmesini sağlamaktır. Karar verme durumunda olan kişi(ler), yani karar verici(ler) bazı nedenlerden dolayı, istenmeyen sonuçlara yol açarak hatalı kararlar verebilirler.
- Örnekleme hataları, özel durumlar dışında, daha ucuz, daha hızlı olduğu için % 100 muayene yerine kullanılan bir muayene yöntemidir. Ancak, herhangi miktardaki ürünün kabul edilebilirliğine dönük yapılan kabul örneklemesinde daima bir hata yapma söz konusu olmaktadır. Kabul örneklemesindeki bu hatalar iki sınıfta toplanır; kabul edilir nitelikteki bir partinin ürünün kabul edilmemesi ile ortaya çıkan hatalar ve red edilmesi gereken bir parti ürünün kabul edilmesi ile ortaya çıkan hatalardır.
- Mekanik hatalar, bir yapının, makinanın veya ondan beklenen fonksiyonu tatmin edici derecede yerine ivme yetisine sahip olmayan bir makina parçasının boyutunda şeklinde veya malzeme özelliklerindeki değişimdir. Herhangi bir makina mühendisinin öncelikli sorumluluğu dizaynın fonksiyonlarının tavsiye edilen dizayn ömrüne sahip olduğunu garanti etmesi ve zamanında piyasada rekabet edebilir özellikte olmasıdır.
- Sistem hataları, takım ve teçhizatlar kaçınılmaz olarak hata yaparlar ve böyle bir şey tamamıyla güvenilir bir sistem için söz konusu değildir. Bir kalemin ne zaman hata yapacağını tahmin etmek olanaksızdır; hatta bir kalemin bir dahaki 30 saniye içinde hata yapmayacağını kesin bir şekilde söylemek bile mümkün değildir. Neticede takımın özel bir parçasının güvenilirliği üzerindeki tartışmalar tahminlerden daha ziyade istatistiksel analizler baz alınarak yapılır. İyi işletme

dizaynları bir hatanın tanımlandığı ve önlendiğı zaman aralığı içinde çalışmasını güvenli, mantıklı ve ekonomik olarak devam ettirebilme ve hataların etkilerini tahmin edebilme yeteneğine sahiptir.

- Yazılım hataları, ürün, donanımı, vb. gibi hatalarından farklı bir yapı göstermektedir. Bilgisayar yazılım kopyaları orijinalleriyle aynı olduğundan bunların arasındaki değışiklik söz konusu değıldir, dolayısıyla buna bağılı bir hata beklenemez. Yazılım hatalarının en önemli kaynağı insandır.



3 MÜHENDİSLİK TASARIMI KAVRAMI

Mühendislikte uydu, bilgisayar veya uçak gibi karmaşık ürünlerin yaratılması tasarım olarak tanımlanır. Tasarımcı ise, basitçe, bu ürünlerin detaylı çizimlerini tasarlayan ve hazırlayan kişidir. Mühendisi bilim adamından ayıran ve mühendisleri piyasayla ilişkilendiren özellik tasarımıdır. Dolayısı ile günlük hayatta ve mühendislik uygulamalarında tasarımın önemi büyüktür.

MÖ 2650 yılında ilk Mısır piramidini yapan İmhotep ilk tasarımcı olarak kabul edilir. Mühendislik çizimleri tasarımla doğrudan ilintili olduğu için tarihte ilk tasarım çalışmaları Gudea ile MÖ 4000 yılına kadar uzanır. Teknik çizimlerin ilk yazılı kanıtları MÖ 30 yılında Romalı mimar Vitruvius'un çalışmaları ile tarihte kendini gösterir. Yakın tarihte ise, William Minifie isimli bir Amerikalı "Geometrik Çizimler" isimli kitabı ile ilk tasarım metnini hazırlamış kabul edilir. Bugün, literatürde hem mühendislik tasarımı hem de mühendislik çizimleri ile ilgili çok sayıda kaynak bulmak mümkündür. (Dhillon, 1999)

3.1 Mühendislik Tasarımı

Son zamanlarda, tüm sektörlerde endüstriyel başarıyı sağlamak için, tasarım gittikçe artan bir önem kazanmaktadır. En basit tanımla; tasarım doğru sektör için doğru zamanda, doğru kalitede, doğru fiyatla, doğru özellik ve performanslarda doğru ve güvenilir ürünün üretilmesidir. İyi bir tasarım başarıyı garantilemese bile başarıya katkısı çok yüksektir. İyi bir tasarımın karakteristik özellikleri; uzun kullanım zamanı, güvenilirlik, düşük maliyet ve bakım, sonuçlarda kesinlik ve çekici dış görünüşdür. Tehlikeyi azaltmak, yeni bir yöntem geliştirmek, maliyeti düşürmek, sosyal değişikliklere uyum sağlamak ve rekabet gibi çok farklı sebeplerle tasarım yapılabilir. (Dhillon, 1999)

3.1.1 Tasarım Hataları ve Genel Sebepleri

Tarihte tasarım hatalarından kaynaklanan pek çok felaket yaşanmıştır. Çernobil ve uzay mekiği Challenger en çok bilinen örneklerdendir. Bu ve bunlar gibi pek çok talihsiz olayların sonucunda konuyla ilgili pek çok insan çeşitli tasarım hataları üzerinde çalışmış ve bu tür sorunlara sebep olacak çok farklı hata sebepleri olabileceği sonucuna varmışlardır. En genel hata sebepleri Tablo 3.1’de verilmiştir. (Dhillon, 1999)

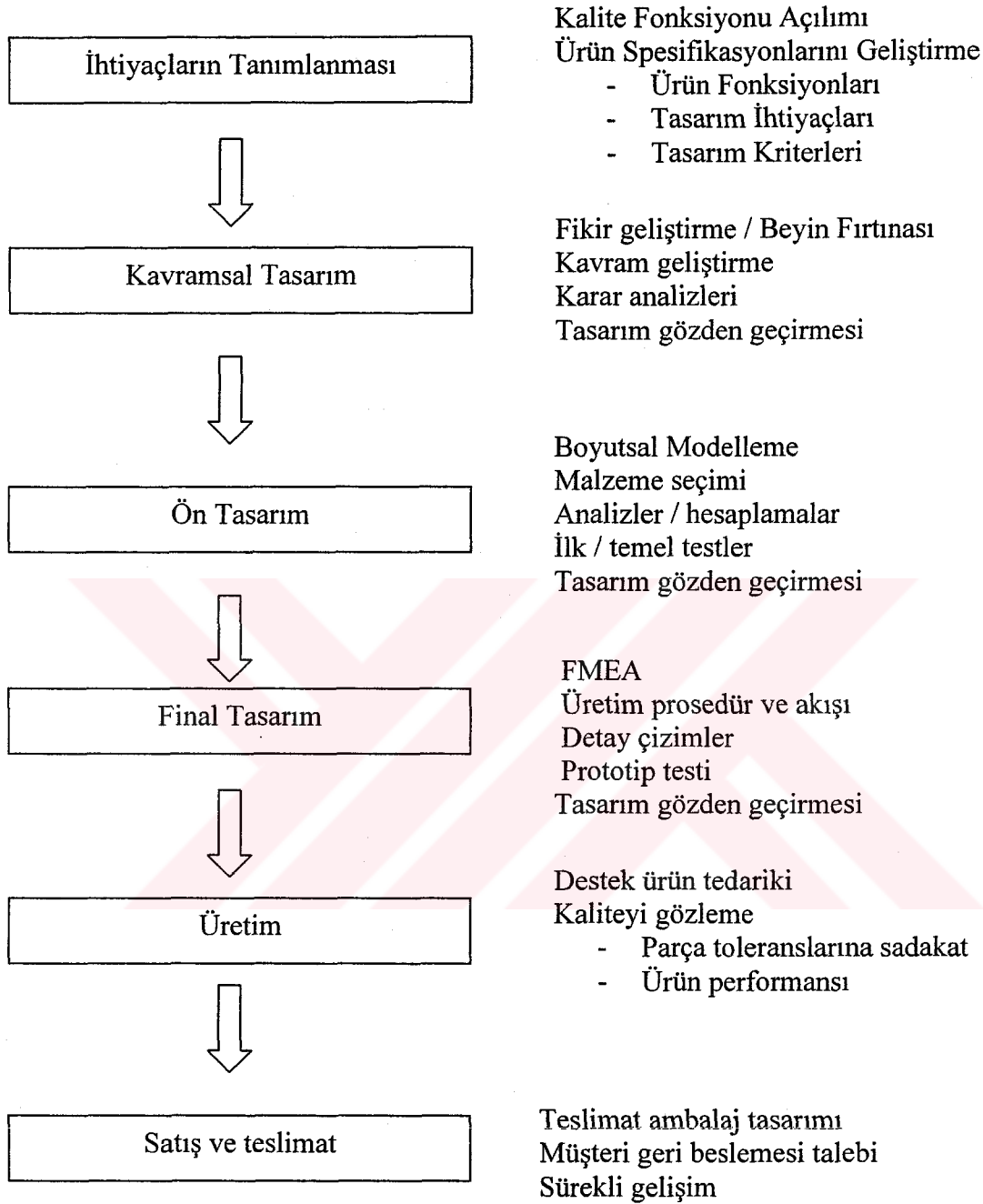
Tablo 3.1: Ürün Hatalarının Genel Sebepleri (Dhillon, 1999)

1	Kullanıcı tarafından yanlış kullanım
2	Hatalı üretim
3	Hatalı muhakeme
4	Çözülmesi gereken problemlerin yeterince anlaşılmaması
5	Eksik ve hatalı veri toplanması
6	Yanlış depolama
7	Ana prensiplere göre problemin yanlış tanımlanması
8	Hatalı veya fazla genişletilmiş varsayımlar
9	Hatalı veri

3.2 Tasarım Aşamaları

Tasarım prosesi, yararlı ve karlı ürünlerin geliştirilmesi için bilimsel veriler, mühendislik teknolojisi ve pazarlamanın yaratıcı bir entegrasyonudur. Tasarım prosesi Şekil 3.1’de gösterildiği gibi altı aşamada tanımlanmaktadır. Tasarım, ihtiyaçların tanımlanması ile başlar. Bu, kullanıcının ihtiyaçlarını anlama ve belirleme anlamına gelir. Ürün fonksiyonları ve tasarım ihtiyaçlarını belirlemede Kalite Fonksiyonlarının Açılımı (QFD) yaygın bir teknik olarak kullanılmaktadır. İhtiyaçlar belirlendikten sonra kavramsal tasarım aşaması gelir. Bu aşamada gerekli araştırmalar yapılarak literatür ve diğer kaynaklardan bilgiler toplanır, fikirler ortaya atılır. Kavramsal tasarım aşamasında

yapılan çalışmalar tamamıyla yaratıcı ve alternatiftir. Kavramsal tasarım aşamasını ön tasarım takip eder.



Şekil 3.1: Tasarım Akışı (Keyserling, 2000)

Ön tasarımda, kavramsal tasarım aşamasında ortaya atılan fikirlerden birkaç tanesi seçilerek bunların hangisinin kullanıcı ihtiyaçlarını en iyi karşıladığına karar verilir. Karar verilirken gerekli analizler ve hesaplamalar, temel testler ve mühendislik

izimlerinden faydalanılır ve tasarımlar üzerinde periyodik gözden geçirmeler yapılır. Bunlar tamamlandıktan sonra final tasarım aşamasına geçilir. Bu aşamada ön tasarım aşamasında belirlenen birkaç tasarım teke indirilerek detaylı çizimler hazırlanır ve prototip üretilir. Prototip üzerinde gerekli testleri yapılarak tasarım geçerli kılınır. Yapılan test sonuçları tamamen olumluysa üretim prosesine karar verilerek seri üretime geçme çalışmaları yapılır ve tasarlanan ürün seri bir üretim hattında üretilmeye başlanır. Son olarak üretilmi gerçekleştirilen ürünün satışı ve sevkıyatı yapılır. (Keyserling, 2000)

3.3 Tasarım Fonksiyonları

Tasarım, kullanılabilir ve karlı bir malzeme geliştirmek için bilimsel bilgi, mühendislik teknolojisi ve pazarın yaratıcı bir entegrasyonudur. Daha önce anlatılan tasarım aşamalarına ilaveten tasarım fonksiyonları da kabaca beş kısıma ayrılabilir. Bunlar:

- Araştırma
- Mühendislik
- Üretim
- Kalite Güvence
- Ticari

Araştırma fonksiyonu genel ve detaylı araştırmayı, kalite testleri için spesifikasyonlar geliştirilmesini ve proses spesifikasyonlarının hazırlanmasını içerir. Mühendislik fonksiyonu tasarım aktivitesinin alt bileşenidir ve yeni tasarımlar, kavramlar geliştirmeyi, maliyet tahminlerini, üretim tasarımını, bakım talimatları için hazırlıkları ve saha problemlerinin araştırılmasını içerir. Üretim fonksiyonu, montaj, üretim planlama, alet ihtiyaçlarının belirlenmesi ve materyal satın alınmasını içerir. Kalite güvence fonksiyonunun temel amacı son ürünün kalitesini güvence altına almaktır. Kalite güvence fonksiyonu ile yürütülen bazı aktiviteler; tasarım için kalite ile ilgili metotlar ve prosedürler, tasarım denetimin oluşturma dır. Ticari fonksiyon müşterilerle olan ilişkilerle ilgilenir ve asıl odaklandığı noktalar da pazar ve ihale araştırması yapma, reklam verme, sözleşmeleri düzenleme ve teslimatları ve ödemeleri ayarlamadır. (Dhillon, 1999)

3.4 Tasarım Ekibi ve Sorumlulukları

Genellikle tasarımı yapan tek bir kişi değildir. Gerçek yaşamada tasarıma katılan çok fazla bölüm vardır. Örneğin bir tasarım gerçekleştirilirken üretim, saha hizmetler ve kalite kontrol gibi bölümlerden temsilcilerin katılımı sağlanır. Ürünü doğası katılımcıların düzeyini belirler. Tasarım ekibi üyelerinin sorumlulukları dört gruba bölünebilir:

- Tasarım
- Üretim
- Kalite
- Saha hizmetleri

Tasarım sorumlulukları, ilk tasarım kavramı, fonksiyonel bütünlük, prototip geliştirme, test prosedürleri, doküman yayımlama, spesifikasyonlar, maliyet tahminleri, materyaller, performans hedefleri, ürün reçeteleri ve güvenilirlik grubu, güvenlik grubu, standart grubu, planlama grubu ile koordinasyonları içerir. (Dhillon, 1999)

3.5 Tasarım Gözden Geçirmeleri

Tasarım gözden geçirmeleri, mühendislik ürününün tasarımın aşamasında önemli bir faktördür. Bu gözden geçirmelerin temel amacı tasarım prensiplerinin doğru uygulanıp uygulanmadığını garanti altına almaktır ve tasarımın planlara, spesifikasyonlara göre uygun gidip gitmediğinin kararının verilmesidir.

Tasarım aşamasında ürünü bir çok gözden geçirme uygulanır ve bu gözden geçirmelerin maliyeti toplam tasarım maliyetine oranı % 1 ya da 2 oranındadır.

Literatürde tasarım gözden geçirmeleri çok çeşitlendirilmiştir. Ama temel olarak üç çeşit gözden geçirme mevcuttur. (Dhillon, 1999)

- *Kavramsal Tasarım Gözden Geçirmesi:* Bu gözden geçirme genellikle tasarımın ilk oluşturulmasından önce gerçekleştirilir. Bu gözden geçirmenin temel amacı tüm tasarım spesifikasyon ihtiyaçlarının tam, geçerli ve eksiksiz olmasını kontrolüdür. Bu aşamada gözden geçirilecek tasarım alanları; maliyet amaçları,

tasarım alternatifleri, malzeme temini, yasaların uygulanması, potansiyel müşteriler, gerekli fonksiyonlar, müşteri ihtiyaçları ve kritik parçalardır.

- *Ön Tasarım Gözden Geçirmesi:* Detaylı üretim resimleri çizilmeden önce gerçekleştirilir. Bu gözden geçirmenin temel amacı spesifikasyon gereklerinin yürütülen tasarımla mukayese edilmesidir.
- *Kritik Tasarım Gözden Geçirmesi:* Final gözden geçirme denen bu aşama üretim çizimlerinin tamamlanmasından sonra gerçekleştirilir. Bu gözden geçirmenin ana vurgusu tasarım üretilebilirliği, değer mühendisliği, analiz sonuçlarının gözden geçirilmesi, vs üzerinedir.

3.6 Güvenilirlik İçin Tasarım ve Tasarım Güvenilirliği Kontrol Listesi Maddeleri

Bir tasarım sadece güvenilir ise faydalıdır. Böylece güvenilirlik mühendislik tasarımında çok önemli bir faktör olmaktadır. Bununla birlikte genel güvenilirlik gereksiniminden etkilenmiş olan başlangıç tasarım kavramları şu gibi faktörlere dayanmaktadır: Bir ürünün işlevsel karmaşıklığı, maliyet hedefi, ürünün kullanım gereksinimleri ve kullanım için düşünülen yeni teknolojiler/ parçalar/ malzemelerle birlikte elde edilebilen gelişim ve teknik anlayışın durumu.

Ürün güvenilirliği üzerinde çok önemli etkisi olabilen Tasarım sürecinin çeşitli yönleri vardır. Bunlar; ürün basitliği, parçaların bilinen şekilde kullanımı, hata türleri analizi, gereksinimlerin ve kuralların anlaşılması, muhtemel test ortamında tasarımın elektriksel, mekaniksel, güvenlik ve malzeme seçimi açılarından kabul gereksinimleri için izin verilmesi, dış bileşenlerin dikkatle temin edilmesi, kaba kullanım, yanlış kullanım ve taşıma için izin verilmesi, üretimde basitlik ve mekanik tasarım seçeneklerinin mümkün olduğunca matematiksel olarak doğrulanması vb.

Etkin tasarım süreci sırasında güvenilirliğin çeşitli yönlerini düşünmek için güvenilirlikle ilgili maddelerin bir kontrol listesini hazırlamak yararlıdır. Bu maddelerden bazıları aşağıda verilmiştir: (Dhillon, 1999)

- Ayarlamaların minimize edilmesi
- Performans/güvenilirlik/ortam/yaşam/sinyallerin tüm ilgili bileşen, ara yüz ve yapılar için gereksinimlerin oluşturulması
- Mekanik destek yapılarının uygunluğu

- Isı transfer cihazları ya da tasarımlarının etkinliği
- Hata gösteren cihazların etkin kullanımı
- Tüm ürün bileşenlerinin güvenilirlik ve güvenlikleri için özel tasarım kriterlerinin şartnameleri
- Özel temin, test ve kullanım gerektiren bileşenlerin tanımlanması .
- Testlerden gözlenen eksikliklerin giderilmesi için geliştirmelerin hazırlanması
- Bakım gereksinimlerinin ve bakılabilirlik amaçlarının oluşturulması
- Fiş ve prizlerin yanlış yuvalara sokulmasına karşı uygun koruma
- Sınırlı ömürlü parçaların tanımlanması
- Daha önemli parçalarda kendini gözden geçiren veya kendini kalibre eden cihazların yerleştirilmesi
- Güvenilirlik hedeflerinin karşılanması için bileşenlerin , ara yüzlerin ve yapıların seçilmesi
- Son tasarım için seçilen parçaların raf ömürlerinin belirlenmesi
- Parçaların/ara yüzlerin/yapıların uygulamasındaki uygun güvenlik faktörlerin kullanımı
- Tüm ayarlamalarıyla birlikte tüm parçaların ve yapıların sağlamlılık gereksinimlerinin oluşturulması
- Kritik yapılarda operasyonel ortamın ters etkilerinin azaltmak için mümkün olan en iyi metotların ve tekniklerin kullanımı
- Fabrika, operasyon öncesi ve operatör tiplerine uygun olarak tüm kritik ayarlamaların sınıflandırılması
- Parça/yapı parametrelerinin alçaltılması ve değişkenliğini göz önünde bulunduran çalışmaların performansı
- Gelişim modelinin mümkün olduğuunca üretim modeline yakın olması için çaba harcanması
- Titreşim izolasyonlarının ve çok tepelerinin yok edilmesi için tasarımın üzerinde durma
- Etkin bakımı kolaylaştırmak için paketleme ve mekaniksel yapı planının tasarımı

3.7 Tasarım Sorumluluğu

Ürün tasarımında çok önemli bir yere sahip olan bu kavram, tasarımcıların tasarlanan ürünün kusurlar nedeniyle yaralanmalara, kayıplara veya zarara neden olma sorumluluğu olarak açıklanır. Roche' a göre ürün sorumluluğu nedeniyle açılan davaların % 40 tasarım kusurları nedeniyle olmaktadır.

Ürünün kusurları belirlenirken, ürünün pazarlaması, belirlenen talimatlar ve uyarılar, satış zamanı gibi faktörler göz önüne alınmalıdır. Yaralanma ile sonuçlanan durumlarda, tasarım sorumluluğu etkileyen önemli noktalar şunlardır:

- Tasarımcı, yaralanma riski önceden belirlenemiyorsa sorumlu olamaz.
- Tasarımcı, yaralanma riski önceden belirlenebiliyorsa ve gerekli önlemleri almışsa sorumlu olamaz.
- Tasarımcı, yaralanma riski önceden belirlenebiliyor ve kullanıcıya bariz bir şekilde görünmüyor ise buna karşılık tasarımcı herhangi bir uyarı koymamışsa sorumludur.
- Tasarımcı, yaralanma riski önceden belirlenebiliyor ve kullanıcıya bariz bir şekilde görünüyor ise sorumlu olamaz.

Tasarımla alakalı riskleri azaltmak için basit bir cevap yoktur fakat tasarım gözden geçirmeleri bunun için önemli bir araçtır. (Dhillon, 1999)

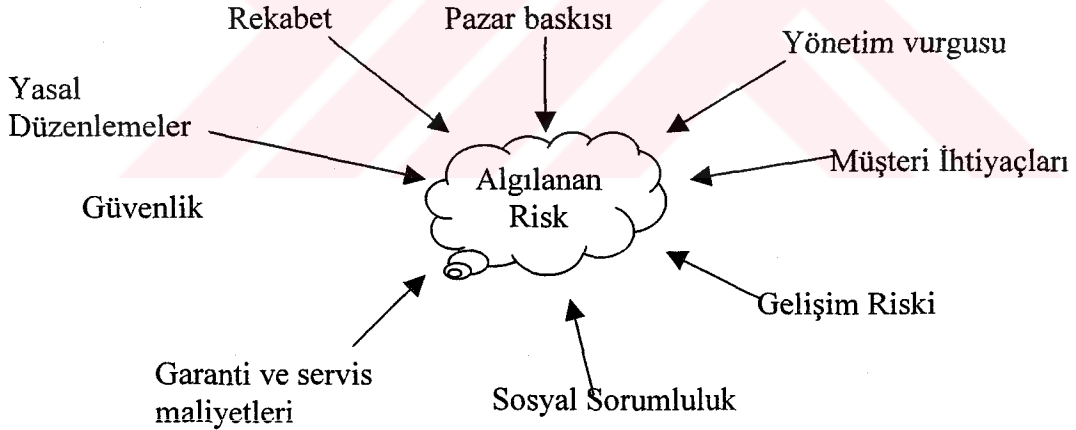
4 GÜVENİLİRLİK KAVRAMI

4.1 Güvenilirlik Tanımı

Güvenilirlik; bir ürünün kendisinden beklenen fonksiyonu önceden saptanmış bir süre içinde, belirli çevre ve çalışma koşulları altında arıza yapmadan yerine getirme olasılığıdır. (Akın,1998) Bu tanımdan da anlaşıldığı üzere güvenilirliğin elementleri:

- Tatmin edici performans
- Zaman
- Belirli çalışma koşullarıdır.

Güvenilirliğin temelinde risk yatar. Bir ürünlerdeki algılanan risk kaynakları Şekil 4.1 gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Algılanan Risk Kaynakları (NLRC, 2000)

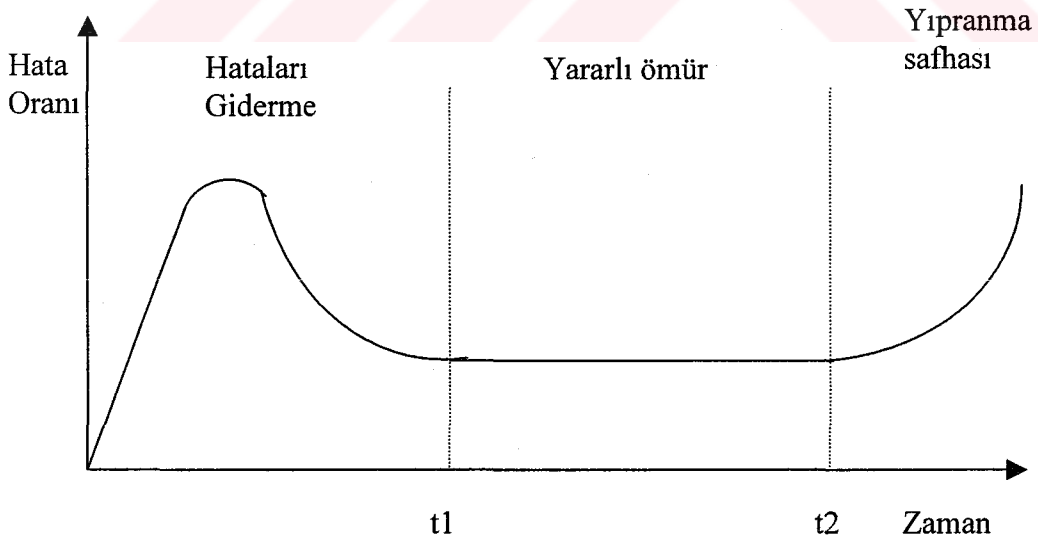
Ürün güvenilirliğinden bahsederken aşağıdaki dört özelliği göz önünde tutmalıdır: (Akın, 1998)

- Ürün güvenilirliği olasılıkla ilgili bir kavram olup, bu olasılığın sayısal değeri 0-1 arasında değişmektedir.

- Ürünün fonksiyonlarını yerine getirebilmesi, üründen beklenen işlev ya da işlevlerin yerine getirmesi olarak algılanır. Ürünle ilgili gelişimi sağlayabilmek için, ürün tasarımı, taahhüt edilen ihtiyaçları karşılayacak veya geçebilecek tarzda tasarlanmalıdır.
- Ürün güvenilirliğinde anlaşılan, belirli bir zaman periyodu içinde ürünün başarılı olmasıdır. Zaman kavramı bir parametre olarak konuyla ilgilidir.
- Ayrıca ürünün hangi çevresel koşulla veya hangi çalışma şartları altında çalışacağı da önemlidir.

4.2 Ürün Ömür Eğrisi

Ürünün ilk kullanımından, eskimesine kadar olan süre üç farklı dönem olarak ele alınabilir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 4.2) hata oranının zamanla nasıl değiştiği ürün ömür eğrisi grafiği olarak gösterilmiştir. Çoğunlukla bu grafiği kuvvet ergisi de denilmektedir. Grafik incelendiğinde ürün ömrü üç ayrı bölüm halinde ele alınmıştır. Birinci safha olan hataları giderme safhasında, ürünün belirgin olan birincil problemleri belirlenmiş ve prototip testleri uygulanmak suretiyle sorunlar giderilerek hata oranı düşürülmüştür. İkinci safha olan yararlı ömür safhasında tesadüfi hatalar meydana gelir. Bu safhada hata oranı sabittir. Sonuncu safhada ise hata oranında hissedilir bir artış olmakta ve ürün ekonomik ömrünü tamamlamaktadır. (Akın,1998)



Şekil 4.2: Ürün Ömür Eğrisi (Akın,1998)

4.3 Güvenilirlik Yönetimi

1990 'lı yıllarda hükümet, üretici ve tüketici sektörlerinde güvenilirlik mühendisliği algılanışında büyük değişiklik oluşmuştur. Örneğin ,1960 lar ve 1970 lerde güvenilirlik mühendisliği fonksiyonu matris organizasyonun sağduyulu bir birimiydi; bugünkü ortamda mühendislik tasarım ekibinin önemli bir bileşenidir.

Yıllar geçtikçe mühendislik projeleri daha karmaşık ve gelişmiş oldukça, güvenilirlik prensipleri bir yönetim görevini de üzerine almıştır. (Dhillon, 1999)

4.3.1 Güvenilirlik Programıyla İlgili Sorumluluklar

Etkin bir güvenilirlik programına sahip olmak için, yönetimin sorumluluğunda çeşitli faktörler bulunmaktadır. (Dhillon, 1999)

- Şirket operasyonları ve ürettiği ürünün mevcut performansının Güvenilirliğine uygun olarak bir giriş programı oluşturmak.
- Belirli güvenilirlik hedefleri ve amaçları oluşturmak
- Güvenilirlik amaçlarının hazırlanmasını sağlayacak ve mevcut eksiklikleri giderecek etkin bir program oluşturmak. Tamamen etkin bir program kurulum maliyetlerini fazlasıyla geriye ödeyecektir.
- Programla ilgili olan otoritenin, fonların, işgücünün, zaman çizelgesinin sağlanması.
- Düzenli bir temelde programı gözden geçirmek ve politikaları, prosedürleri, organizasyonu vb. en arzulanan seviyede değiştirmek

Aşağıdaki gibi gerçekler etkin bir güvenilirlik programına sahip olmak için genel yönetime yol gösteren bir güç olacaktır. (Dhillon, 1999)

- Güvenilirlik yönetimde, planlamada ve mühendislik ürününün tasarımında önemli bir faktördür
- Mühendislik ürünü alanındaki bakımda, üretimde, depolama ve yüklemede, test ve kullanımdaki değişiklikler tasarımın güvenilirliğini azaltmaya eğilimlidir.

- Planlanmış programlar tasarımı, üretimde, testte ve mühendislik ürününün sahadaki kullanımında güvenilirliğin kontrol edilmesi için gereklidirler.
- En ekonomik olarak güvenilirliğin yüksek seviyelerinin elde edilebildiği zaman tasarım ve değerlendirme test programlarının ilk aşamalarıdır.
- Güvenilirlikteki gelişmeler sadece tasarım değişiklikleri aracılığıyla olabilir.
- İnsan hatası tasarımın güvenilirliğini azaltır.
- Doğru zamanlamayla olgun bir mühendislik ürününde istenen güvenilirliğin sağlanmasında yetersiz veri toplanması , analiz ve geri-besleme önemlidir.

4.3.2 Güvenilirlik Programları İçin Askeri Şartname

Güvenilirlik programlarının geliştirilmesi için, askeri şartname, MIL-R-27542, aşağıdaki rehberi içermektedir.

- Sistem için amaçlarla birleştirilmiş güvenilirlik tahsis edin.
- Doğal ekipman güvenilirliğini maksimum düzeyde sağlamak için tasarım sürecinde mümkün olduğunca fazla gayret sarf edin.
- Güvenilirlik sınırlarını değerlendirin.
- Şartname gözden geçirmesini gerçekleştirin.
- Tasarım ve prosedür gözden geçirmelerini gerçekleştirin.
- Uygun bir test programı oluşturun.
- Güvenirliliğe bağlı kalarak şartname ve çizimlerdeki değişiklikleri gözden geçirmeyi yürütün.
- Üretim sırasındaki kontrolü muayene, numune test etme ve etkin üretim kontrol aracılığıyla oluşturun ve devamını sağlayın .
- Mühendislik uzmanlarının hatanın yeniden oluşmasını durduracak düzeltici ölçütleri elde etmelerini sağlayacak hata raporlama, analiz, geribildirim için kapalı çevrimli bir sistemi geliştirin.
- Tek bir gruba güvenilirlik için sorumluluk atayın.
- Güvenilirlik grubunun uygun bir üstte rapor verdiğinden emin olun ki güvenilirlik çalışması etkin bir şekilde yapılabilir.

- İş üzerinde eğitim olanağı ve programı geliştirin.

Daha önceden oluşturulmuş gerekliliklerden çalışıldığında, güvenilirlik amaçlarını oluşturmak şarttır ve güvenilirlik amaçlarını oluşturma temelde tüm gereklilikleri bir alt amaçlar serisine indirgmeden oluşmaktadır. Güvenilirlik amaçlarını oluşturmak için genel bir prosedür aşağıdaki gibidir.

- Gereklilikleri açıklayın.
- Organizasyonel hedefi ve ana amacı takip etmek için birimin hedefleri/ amaçları/ misyonlarını geliştirmeden daha öncelikli olan organizasyonel birimin misyonunu gözden geçirin
- İstenilen önemli sonuç alanlarına dikkat çekin.
- Maliyeti muhtemelen en yüksek olan alanları belirleyin.
- En çok beklenti olan sonuç alanlarını izlemek için seçin.
- Amaç adaylarını seçin.
- Her aday amacı başarıyla sağlamak için takip etmenin gerektirdiği kaynakları yeniden gözden geçirin.
- Önerilen çözümleri ve amaca ulaşmada herhangi bir problemliliğe dikkat çekin.
- Amaçların birbirine bağılılıklarını inceleyin ve maksimum koordinasyon için aday amaçlar arasında ayarlamalar yapın.
- Elde edilebilirlik, uyuşabilirlik, ilgililik, kabul edilebilirlik, ölçülebilirlik, ve desteklenebilirlik gibi faktörler açısından amaçları yeniden gözden geçirin.
- Başarılı sonuçlara ulaşmak için kilometre taşları geliştirin ve amaçların son seçimini yapın. Ölçme başarısı için parametreler geliştirin.
- Motivasyonel inisiyatifler / denetimler için gereken hazırlıkları düşünerek amaç başarısı için Aksiyon planları oluşturun
- Tüm taraflarla amaçların iletişimde yazılı biçimleri kullanın ve ilerlemeleri düzenli olarak gözden geçirin.
- Uygun olduğunda ayarlamalar yapın.

4.3.3 Ürün Yaşam Döngüsünde Güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik Yönetimi

Sahada bir mühendislik sisteminin istenilen güvenilirliğini elde edebilmek için, yönetim görevleri güvenilirlik ve sürdürülebilirlik göz önüne alınarak ürün yaşam döngüsünün başından sonuna kadar koordine edilmelidir. Ürün yaşam döngüsü dört ana ayrı faza ayrılabilir: 1-Kavram ve tanımlama fazı, 2-Kazanım fazı, 3-Operasyon ve bakım fazı, 4-Elden Çıkarma fazı. Güvenilirlik ve sürdürülebilirlik yönetimi tüm dört faz ile de ilgilidir. Bu fazların her biri için görevler aşağıda tanımlanmıştır. (Dhillon, 1999)

4.3.3.1 Kavram ve Tanımlama Fazı

Bu fazda sistem ihtiyaçları oluşturulur ve temel karakteristikler tanımlanır. Bu fazda güvenilirlik ve sürdürülebilirlik ile ilgili olan yönetiminin çeşitli görevlerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Tüm kullanılan terimlerin, sistem yeteneklerinin gereklerinin, yönetim kontrollerinin ve parça kontrol gerekliliklerinin tanımlanması.
- Hatalarının tanımlanması.
- Nicel terimlerle sistem için güvenilirlik ve sürdürülebilirlik amaçlarının tanımlanması.
- Güvenilirlik ve sürdürülebilirlik ihtiyaçlarını tamamlamada kullanılacak yazılım ve donanım standart dokümanlarının tanımlanması.
- Tasarım ve üretim fazında takip edilecek metotları tanımlama.
- Güvenilirliğe zararlı olduğu kanıtlanmış kısıtlamaların tanımlanması.
- Temel Sürdürülebilirlik felsefesi ve sistem Güvenilirlik ihtiyaçlarının tanımlanması.
- Sistem yaşam döngüsü süresince veri toplama ve analiz ihtiyaçları tanımlanması.
- Dokümantasyon için yönetim kontrolünün tanımlanması ve gerekli dokümantasyonun sağlanması.

- Yaşam döngüsü süresince sistemin çevresi ile ilgili olan faktörlerin tanımlanması.

4.3.3.2 Kazanım Fazı

Bu sistem yaşam döngüsünün ikinci fazıdır ve sistem kazanımı ile tesisi kadar sistemin son destek aktivitelerinin planlaması gibi aktivitelerle de ilgilidir. Bu fazdaki yönetimin görevlerinin güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik ile ilgili olanları aşağıda verilmiştir.

- Sistemin teknik ihtiyaçlarının, kullanılacak olan önemli tasarım ve geliştirme metodlarının, son sistemin parçası olarak istenen dokümanların, sistemi değerlendirmek için değerlendirme metodları tiplerinin ve kullanım gösterisi gerekliliklerini tanımlama.
- Güvenilirlik ve tamamlanması gereken Sürdürülebilirlik ihtiyaçlarını tanımla.
- Bir eksiklik veya hatanın anlamını tanımla.
- Yönetilecek gözden geçirmelerin tiplerini tanımla.
- Üreticiden tüketiciye sağlanacak verinin tipini tanımla.
- Geliştirilecek yaşam döngüsü maliyet bilgisini tanımla.
- Eğer varsa çalışılması gerekli olan alanları tanımla.
- Gerekli olan lojistik destek çeşidini tanımla.

4.3.3.3 Operasyon ve Bakım Fazı

Sistem yaşam döngüsünün üçüncü safhası olan bu faz bakım, mühendislik yönetimi ve işlemsel yaşam periyodu süresince sistemin desteklenmesi ile ilgili görevlerle ilgilidir. Operasyon ve bakım fazı süresince güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik ile ilgili olan yönetimin görevlerinin bir kısmı aşağıda verilmiştir.

- Hata veri bankaları geliştirmek.
- Güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik verilerini analiz etme.
- Bakım için uygun araçların sağlanması.
- Uygun eğitilmiş işgücünün sağlanması.
- Yedek parçaların tahmini ve yönetimi.

- Mühendislik değişim önerileri geliştirme.
- Bakım dokümanları hazırlama.
- Herhangi bir mühendislik değişimi açısından dokümanlarını gözden geçirme.

4.3.3.4 Elden Çıkarma Fazı

Sistem yaşam döngüsünün son fazıdır ve sistemi, önemli olmayan destek parçalarını çıkarma ile ilgili aktivitelerle ilişkilidir. Bu fazda güvenilirlik ve sürdürülebilirlik ile ilgili iki tane olan yönetim görevleri; son yaşam döngüsü maliyeti ve sistemin sorgulanmasında son güvenilirlik ve sürdürülebilirlik değerleridir. Yaşam döngüsü maliyeti elden çıkarma maliyeti veya gelirini içerir. Son güvenilirlik ve sürdürülebilirlik değerleri kullanılan sistemi satınalan ve benzer sistemlerin satın alınmasında kullanmak için hesaplanır.

4.3.4 Güvenilirlik Denetimi ve Güvenilirlik Program Yönetimindeki Güçlükler

Denetimler güvenilirliğin zayıf, kuvvetli ve kabul edilebilir alanlarını belirlemek için önemlidir. Güvenilirlik denetimlerini yürütmek için çeşitli prensipler vardır. Denetim çizelgesini devam ettirme, denetim sonuçlarını kaydetme, öncelikli duyurular olmaksızın denetimleri yürütmek, kontrol listelerini kullanarak denetimin gerçekleştirilmesi, denetim için tarafsız kişilerin seçilmesi, takip edilecek eylemleri yazın ve denetim amaçlı sürekli bir kişiyi atamaktan kaçınılmalıdır.

Güvenilirlik denetimi birçok avantaja sahiptir. Örneğin; problemleri alanların düzenlenmesi, müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasını belirleme, müşteri şikayetlerinin azaltılmasında yardımcı olma, alıcının güvenilirliğe olan tepkisini tahmin etmede ve şirket güvenilirlik hedeflerinin karşılanıp karşılanmadığını bulmada yardımcı olur.

Güvenilirlik program yönetimindeki güçlükler pek çok güvenilirlik programı belirsizliği ve problemlerinin sebepleridirler. Bu güçlükler aşağıda verilmiştir.

- Güvenilirlik organizasyonu
- Güvenilirlik testi
- Programlama

- Üretim

Güvenilirlik organizasyonundaki güçlükler iki önemli örnek; birkaç organizasyonel sıraya sahip olma ve dahili diyalog ve koordinasyon olmaksızın katkılarda bulunan yetkili şahıslara sahip olma olarak verilebilir.

Güvenilirlik testi güçlüklerine önemli bir örnek olarak da güvenilirlik tanıtım testinin başlamasının gecikmesi verilebilir. Bu tür bir gecikme güvenilirlikle ilgili değişikliklerin birleşimi problemini müşteriye gönderilmeye hazır ürüne ekleyebilir.

Programlama güçlükleri de önemlidir ve çok dikkat edilmelidir. Program ihtiyaçları ile ilgili olan güçlüklerden bir tanesi de program ile ilgili kişilerin program gerekliliklerini anladığı varsayımdır.

Üretim fazı esnasında da ortaya çıkan güçlükler mevcuttur. Örnek olarak; Sistemin üretim terminine uygun olmayan parçaların tedarik temin süresi söz konusu olduğunda parçaların alıcıları hatta tasarım mühendisleri (belirsiz koşullar altında) muadil parçaların güvenilirlik üzerindeki etkilerine dikkat etmeden izin verebileceklerdir. Bu tür güçlükler ancak etkin bir güvenilirlik yönetim takımı tarafından önlenilebilir. (Dhillon, 1999)

4.3.5 Güvenilirlik Mühendisliği Sorumlulukları

Güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik programlarındaki muhtemelen en önemli faktör üst yönetimin programa olan davranış şekli ve felsefesidir. Yani üst yönetimin desteği olmaksızın bu program etkin olmayacaktır. Yönetimin olumlu ve yükseltici davranışı elde edildikten sonra uygun güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik organizasyonu kurulacaktır. İki ayrı departman, güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik, sorgudaki şirketin ihtiyacının zorlamasıyla kabul ettirilecektir. Bazen bu iki fonksiyon bir tek departmanın veya kalite güvence departmanın sorumluluğu altına verilebilir. Çünkü güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik departmanlarının yapısının nasıl olması gerektiği ile ilgili katı kurallar yoktur. Ancak bu programlara yeterince önem verilebilmesi için program yöneticilerinin gerekli yetkilere sahip, organizasyonsal hiyerarşide yeterince yüksek düzeyde yer alan kişiler olması gerekmektedir. (Dhillon, 1999)

4.3.5.1 Güvenilirlik Mühendisliği Departmanı Sorumlulukları

Bir güvenilirlik mühendisliği departmanın pek çok sorumlulukları olabilmekle beraber en önemli sorumluluklarından bazıları aşağıda verilmiştir: (Dhillon, 1999)

- Güvenilirlik politikası, planları ve prosedürleri oluşturmak.
- Güvenilirlik ödeneği.
- Güvenilirlik tahmini.
- Güvenilirliği önemseyerek şartname ve tasarım yeniden gözden geçirmeleri.
- Güvenilirlik büyümesini izlemek.
- Eğer varsa taşeronların güvenilirlik faaliyetlerini izlemek.
- Hata veri toplaması ve raporlaması.
- Hata veri analizi.
- Danışmak.

4.3.5.2 Sürdürülebilirlik Mühendisliği Departmanı Sorumlulukları

Benzer şekilde Sürdürülebilirlik departmanın da pek çok sorumluluğu vardır ve bazıları aşağıda verilmiştir. (Dhillon, 1999)

- Sürdürülebilirlik politikaları ve prosedürleri oluşturmak.
- Sürdürülebilirlik iş gücünü eğitmek ve kadrolaştırmak.
- Sürdürülebilirlik için geliştirme planları geliştirmek ve Sürdürülebilirlik tanıtımları yapmak.
- Hata verilerini toplamak ve analiz etmek.
- Tasarım ve şartname gözden geçirmelerinde yer almak.
- Sürdürülebilirlik değerlendirmeleri.
- Sürdürülebilirlik ödeneği.
- Sürdürülebilirlik uzlaşma çalışmalarını sürdürmek.
- Taşeronların Sürdürülebilirlik faaliyetlerini izlemek.

- Diğerlerine danışmanlık hizmetleri sağlamak.
- Sürdürülebilirlikle ilgili bilginin dokümantasyonu.

4.3.6 Güvenilirlik Personeli

Güvenilirlik grubu güvenilirlik mühendisliğinin çeşitli dallarında uzmanlaşmış kişilerden oluşmaktadır. Ancak bazı uzmanlara göre güvenilirlik çalışmasındaki kişilerin aşağıdaki konularda tecrübeleri olması gerekmektedir. Bunlar: kalite kontrol, olasılık teorisi, proje yönetimi, sistem mühendisliği, yöneylem araştırması, çevre testi, bileşenlerin tasarımı, üretim metotları, veri analizi ve toplanması, şartnamelerin geliştirilmesi ve test planlaması, fizik mühendisliği, makina mühendisliği, istatistik, metalürji ve elektronik mühendisliğidir. Güvenilirlik personeli ile ilgili bazı alanlar aşağıda açıklanılmıştır. (Dhillon, 1999)

Bir güvenilirlik mühendisinin görevleri şu şekilde tanımlanabilir. Planlama, tasarım ve geliştirme, üretim, ve bir sistemin geliştirme aşamalarında güvenilirlik mühendisinin çok fazla sayıda görevi vardır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- Amaçlanan bir tasarımın analizini gerçekleştirmek.
- Planlama aşamasında etkin bir güvenilirlik programı için kaynakları korumak.
- Müşteri şikayetlerini güvenilirlikle birlikte analiz etmek.
- Alan hataların incelemek.
- Sistemde alt sistemlerde ve parçalarda testler yapmak.
- Bir sisteme devam ettirmede karşılaşılan sorunları incelemek.
- Sistem, altsistem ve bileşenlerde testler geliştirmek.
- Bileşen düzeyine kadar sistem hata toleranslarını bütçelemek.
- Bir güvenilirlik program planı geliştirmek.
- Parçaların kayıtlarını tutmak.
- Alternatif tasarımların güvenilirliğini belirlemek.
- Sistem yaşamı ve bakımını kolaylaştırmak için tasarımcılara bilgi sağlamak.
- Yönetime güvenilirlikle ilgili uygun bilgiyi sağlamak.

- Uygun bilginin tüm ilgililere uygun biçimde aktığını garanti etmek.
- Güvenilirlik görevlerinin son sonuçlarının sistemli ve etkin biçimde düzenlendiğini garanti etmek.
- Taşeronların güvenilirlik performanslarını izlemek.
- Yeni sistemler için ihtiyaçların geliştirilmesine katılmak.
- Teklifler için değerlendirme isteklerine katılmak.
- Yeni sözleşmelerde güvenilirliğe yeterince önem verildiğine garanti vermek.
- Güvenilirlik tahmin modelleri ve teknikleri geliştirmek.
- Tasarımın gözden geçirilmesi içerisine katılmak.

4.4 Güvenilirlik Analizleri

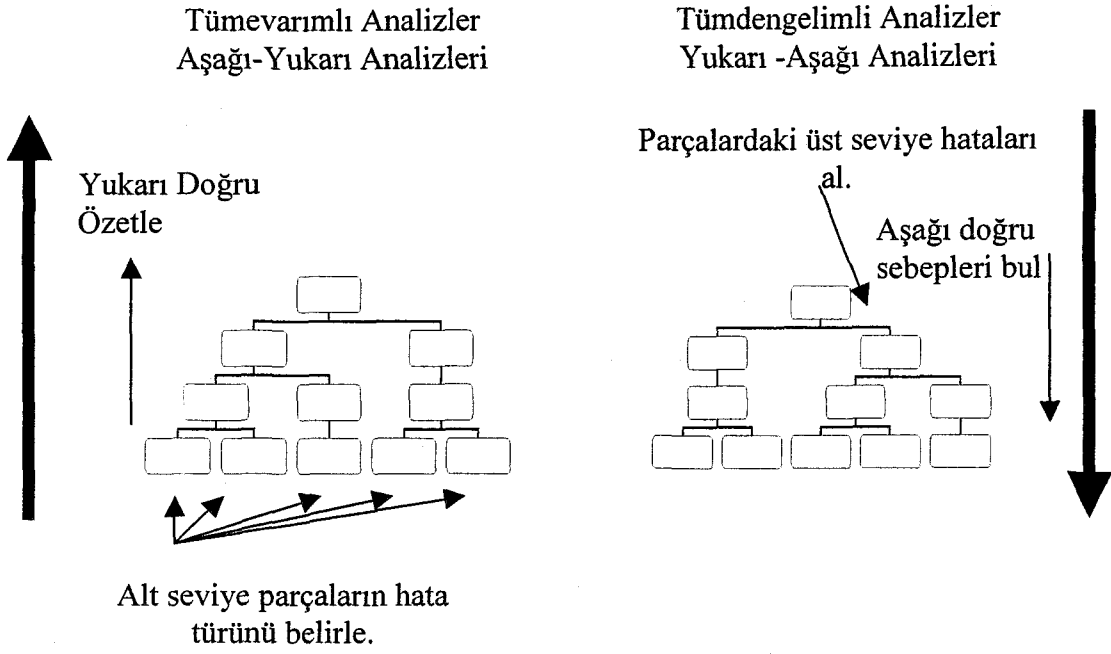
Güvenilirlik analizi, ürün ve proses tasarımı aşamasında uygulanan bir analizdir. Bir ürünün ekonomik kullanılma süresi veya ömrü kalite düzeyini belirleyen faktörler arasında yer alır. Genellikle ürünün ömrünü belirleyen süre ile beraber, bu süre içinde arıza yapmadan çalışma olasılığını dikkate almak gerekir. (Akın, 1998)

Güvenilirlik analizleri temelde iki gruba ayrılır. Birinci grup tümevarımlı analizler, ikinci grup tümdengelimli analizler. Tümevarımlı analizlerde öncelikle alt seviye parçalardaki hata türleri belirlenir ve üst gruplara doğru hatalar özetlenir. Tümdengelimli analizlerde ise en üst seviyedeki parçanın hataları belirlenerek aşağı doğru sebepler belirlenir. Bu durumu net bir şekilde Şekil 4.3 anlatılmıştır. (NLRC,2000)

Endüstride kullanılan bazı güvenilirlik analiz metotları şunlardır: (Anderson, 2001)

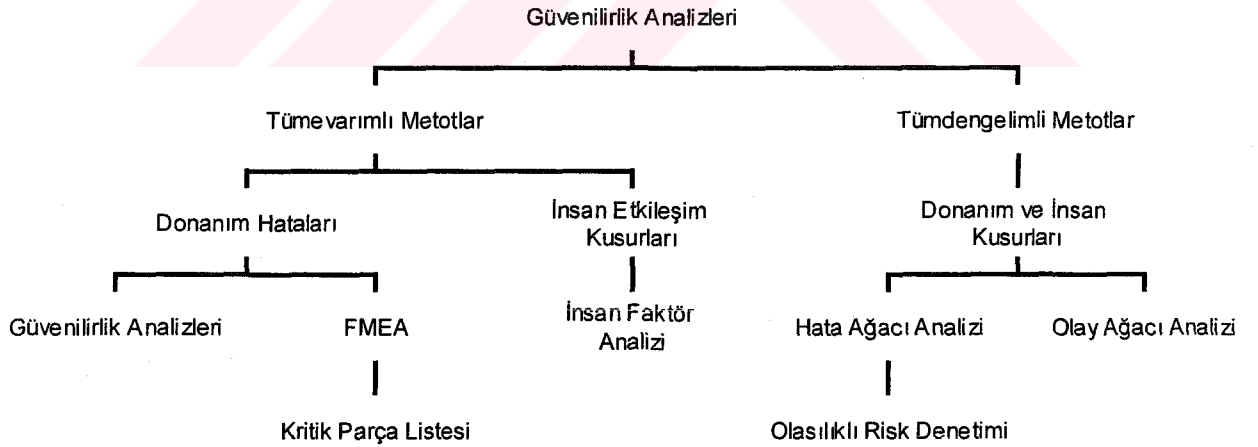
4.4.1 Hata Ağacı Analizi

Hata ağacı analizi bir mantıksal diyagramı kullanarak potansiyel sistem hataları ile beklenen tehlikeleri birleştiren grafiksel bir akış şemasıdır. İlk olarak elektriksel sistemlerin tasarımında kullanılmıştır. Hata olasılıkları verilerek, potansiyel tehlike olasılıkları belirlenir. Hata ağacı analizi FMEA' nın grafiksel gösterimidir.



Şekil 4.3: Güvenilirlik Analizi Tipleri (NLRC,2000)

Bu analizlerin neler olduğu ve hangi teknikler kullanıldığı Şekil 4.4' te anlatılmaktadır.



Şekil 4.4: Güvenilirlik Analizi Uygulamaları (NLRC,2000)

Hata ağacı analizi tasarımdaki potansiyel tehlikelerin belirlenmesi ile başlar. Tehlikeler belirlenirken hem insana hem de ürüne zarar verecek hatalar belirlenmelidir. Her potansiyel tehlike mantıksal diyagramda bir blok olarak çıktı gözükür. Sonra her tehlikeyi üretecek hatalar kombinasyonu araştırılır. Hataların oluşma olasılıkları belirlenerek azaltılmaya çalışılır. (Anderson, 2001)

4.4.2 Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP)

Tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları 1960 yılında Pillsbury şirketi tarafından Amerikan uzay programı için üretilen yiyeceklerde kalite kontrolü sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. 1973 yılında Amerikan Gıda ve İlaç Birliği tarafından kabul edilmiş ve bundan sonrada gıda üreten işletmelerde ve tıbbi cihaz üreticilerinde zorunlu hale getirilmiştir. HACCP' in yedi prensibi vardır: (Anderson, 2001)

1. Tehlike analizi yap. Belirgin tehlikelerin olduğu ve bu tehlikelerin önleyici ölçütlerinin bulunduğu üretim prosesinin adımlarını hazırla.
2. Kritik kontrol noktalarını belirle. Kritik Kontrol Noktası tehlikeleri önleyen, elemine eden ya da kabul edilebilir seviyeye indiren aşamadır .
3. Her kritik kontrol noktası için kritik limitleri oluştur.
4. Kritik kontrol noktalarını izlemek için prosedürler oluştur.
5. Kritik limitlerden sapmalar oluştuğunda düzeltmeler için düzeltici faaliyetleri oluştur.
6. HACCP sisteminin doğru çalıştığını garanti etmek için doğrulama prosedürleri oluştur.
7. HACCP sistemini dokümanle etmek için kayıt tutma prosedürlerini oluştur.

4.4.3 Kök Sebep Analizi

Kök sebep analizi Ford tarafından kendi iş proseslerindeki problemlerle başa çıkmak için geliştirilmiştir. Ford bu yöntemle 8D metodu demek ve aşağıdaki 8 adımı tanımlamaktadır: (Anderson, 2001)

1. Bir takım oluştur.

2. Problemi tanımla.
3. Mevcut acil durumla baş et.
4. Problemin kök sebeplerini bul.
5. Potansiyel düzeltici faaliyetleri test et ve en iyi aksiyon planını tasarla.
6. Aksiyon planını uygula.
7. Problemin tekrarını önle.
8. İyi yapılmış iş için takımı tebrik et.

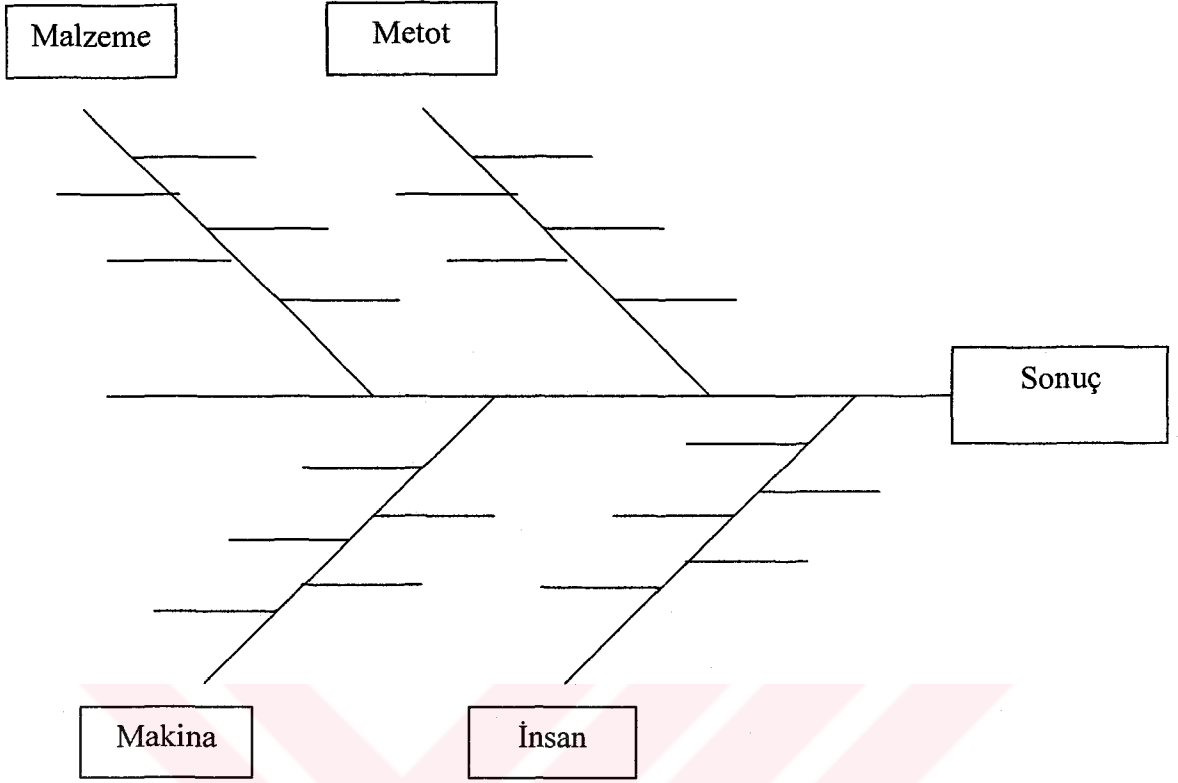
Açıkça görüldüğü gibi metodun odağında problemlerin kök sebeplerini bulmak yatmaktadır. Bu işi yapabilmek için genellikle kontrol listeleri kullanılır .

4.4.4 Sebep Sonuç Diyagramı

Balık kılıcı ya da Ishikawa diyagramı olarak da bilinen sebep sonuç diyagramı, potansiyel sebeplerle bunların etkilerini direk olarak ilişkilendiren görsel bir yöntemdir. Şekil 4.5 Sebep sonuç analizine bir örnek vermektedir. (Anderson, 2001)

4.4.5 Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)

Hata Türü ve Etkileri Analizi güvenilirlik analizleri içinde önemli bir yer tutar. Bu çalışmanın ileriki bölümlerinde detaylı bir şekilde anlatılan FMEA hataların oluşmadan önlenmesi için önemli bir tekniktir.



Şekil 4.5: Sebep Sonuç Diyagramı (Anderson, 2001)

5 FMEA KAVRAMI

Sistemlerde arıza veya hatalara neden olan mekanizmalar bir bütünlük içerisinde meydana gelen rassal veya doğal olaylar olabilir. Hataların mekanizmalara veya sebep olan parçalara göre ayrı ayrı ele almak ve sonra hataların bağımsız olması koşuluyla, sistemin güvenilirliğini genellemek, parça hatalarına göre inceleyip, önlem alınmasını mümkündür (olasıdır).

5.1 FMEA' nın Tanımı

1980 yılında yayınlanan ve bu konuda yayınlanmış ilk standartlardan biri olan MIL-STD 1629A' da FMEA' nın genel tanımı, sistemdeki her bir olası hata türünün, sistemdeki sonuçların veya etkilerini belirlemek ve önemlerine göre her bir hata türünü sınıflandırmak için analiz edildiği bir prosedürdür, şeklinde verilmektedir.

Stamatis (1995), bu tanımı daha da geliştirerek, FMEA, tasarım, proses, sistem ve hizmet ile ilgili bilinen ve/veya olası hataları, yanlışları ve problemleri müşteriye ulaşmadan belirlemeyi tanımlamayı ve, ortadan kaldırmayı amaçlayan mühendislik tekniğidir, şeklinde vermektedir.

Literatürdeki tanımları oldukça fazla olan FMEA bazı örnek tanımları ise aşağıda verilmiştir.

FMEA, bir sistem veya proses tasarımının potansiyel hatalarını belirleyen, analiz eden ve dokümanlaştıran sistematik bir metottur. (**Hammett 1999**)

FMEA, bilinen veya potansiyel hataların, problemlerin, yanlışlıkların vs. Müşteriye ulaşmadan önce sistem, dizayn, proses ve/veya serviste tanımlanması ve elimine edilmesini garanti eden sistematik bir tekniktir. (**Werwega, 2002**)

FMEA, bir sistemin işletilmesinde hataların sonuçlarını ve kaynaklarını araştıran bir tasarım disiplini ve bir kalite aracıdır. Analizin amacı, tasarımdaki problemleri belirlemek ve tasarımı bu problemlerden kurtarmak için modifiye etmektir. (**Barkai, 2001**)

FMEA, bir mamulde oluşabilecek tasarım ve/veya proses kökenli tüm hata türlerinin sistematik olarak yapılan analizidir. Her tür hatanın, müşteri üzerinde oluşturacağı etkiler üzerine analiz yapılır ve bu analizlerin hepsi ürün veya hizmet henüz pazara çıkmadan önce, tasarım ve/veya deneme üretimleri sırasında gerçekleştirilir. Böylece herhangi bir hata oluşmadan önlenmesi sağlanmaktadır. (Akin, 1998)

FMEA, muhtemel hata türleri ve işleyişleri, bu hata türlerinin performans üzerindeki etkisi ve muhtemel önleme yolları üzerine odaklanmış bir yöntemdir. FMEA sonucu ortaya, hata türlerini ortadan kaldırmak üzere yapılabilecekler çıkar. (Usuş, 2002)

FMEA hata ortaya çıkmadan ve hatayı beklemediği için önlem almamış olan müşteriye ulaşmadan önce belirlenip giderilmesini sağlayan bir hata analiz tekniğidir. Bu özelliği ile hataları ortaya çıkararak onarmak amacını taşıyan kalite kontrol yöntemlerinden farklılık gösterir. Çünkü FMEA amacı hataları bulup onarmak değil, önlemek olan bir koruyucu tekniktir. Bu duruma hastalık-aşı ilişkisi örnek olarak verilebilir. İnsanlar hasta olmadan hasta olmamak için aşı olurlar. Benzer şekilde, FMEA da, ortaya çıkmadan hataların giderilmesini sağlayarak aşı görevi yapar. (Boran, 1996)

5.2 FMEA' nın Tarihçesi

Müşteri tatmininin ön planda tutulduğu son yıllarda, istenen özellikleri sağlayan kusursuz ürün ve hizmet üretmek için kullanılması zorunlu hale gelen ve kullanım alanı hızla büyüyen FMEA tekniği şekilsel bir yapıda ilk defa, NASA' da uzay gemilerinin yapımında güvenilirliğin sağlanması amacıyla kullanıldı. Ancak 1950' li yıllarda, Boeing ve Martin Marietta şirketlerinin genel olarak yöntem ve mühendislikteki uygulama sürecini tanımladıkları bir el kitabı oluşturdıkları bilinmektedir. (Boran, 1996)

FMECA, kritik hata türlerini önem derecelerine göre sıralayan kantitatif bir yöntemdir ve bu sıralama işlemi, hataların ortaya çıkma olasılığına ve onların kritikliğine olan etkisine göre yapılır. Bugün FMEA bu kritiklik analizini içerdiğinden dolayı, iki sistem uygulamada uyum sağlarlar. (Usuş, 2002)

1960-1975 yılları arasında Nasa tarafından, 1969 yılında Aya ilk insan indirecek olan APOLLO projesinde uygulanmaya başlamıştır. Aya insan indirecek olan ürün bir tane ve çok pahalı olması nedeniyle hiçbir parça veya sistemin arıza yapmaması isteniyordu.

Bunu sağlamak için FMEA uygulanmıştır. Aksi halde proje çerçevesinde sistemin yedeklenmesi gerekiyordu. (Özay, 1999)

1965-1970 yılları arasında ABD Silahlı Kuvvetlerinde MIL-STD olarak, problemleri analiz etme yolu olarak kullanılmış ve 1970 yılında çok gizli olmaktan çıkarılmıştır. (Özay, 1999)

1970-1975 yılları arasında, ABD Uçak Sanayinde kullanılan FMEA' nın ilk endüstriyel uygulamasını 1975 yılında Japon NEC firması başlatmış ve daha sonra bu uygulama bütün dünyada yaygınlaşmıştır. (Usuğ, 2002)

1980 yılında FORD tarafından otomotiv sanayinde uygulanmaya başlatılmış, sistemde değişiklik yapılarak çok karmaşık askeri uygulamalar basitleştirilmiştir. Bu yöntem, Fransız Renault ve Citroen otomotiv şirketlerinde AMDEC olarak isimlendirilmiştir. 1985 yılında FORD uygulamasından farklı olmayan bir şekilde FIAT şirketinde uygulanmaya başlanmıştır. (Özay, 1999)

2001 yılında ise Ristord nükleer araştırmalarda uygulanmak üzere Belçika' da FMEA prosedürü geliştirdi. Pentti ve Atte (2002) Tablo 5.1' de tarihsel sıralı FMEA ile ilgili yayınların bir kısmı belirtilmiştir.

Bugün de, otomotiv, beyaz eşya, elektronik gibi çeşitli sanayi kollarında üretilen ürünlerin yapısındaki karmaşıklığın artışı, beraberinde güvenilirlik isteklerinde de artışa neden olduğundan FMEA' nın daha çok kullanıldığı alanlar olması sağlanmıştır. FMEA tekniği kullanılan malzemenin, tasarlanan sürecin, kullanım çevresi özelliklerinin ve kullanıcı alışkanlıklarını göz önünde bulundurulduğu özellikle son montaj işlemlerinde, kusursuz ürün üretmek için zorunlu bir araç olmaktadır. (Boran, 1996)

1988 yılında Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu ISO 9000 serisini piyasaya çıkardı. Bu seri, tüm organizasyonların kalite yönetim sistemi biçimini, müşteri isteklerini, beklentileri ve ihtiyaçları üzerine yoğunlaşmasına zorladı. Otomotiv sektöründe ISO 9000 sistemi QS 9000 olarak isimlendirildi ve hatırı sayılan diğer otomotiv tedarikçileri de tasarım ve proses FMEA' sını ve geliştirdikleri kontrol planlarını içeren Gelişmiş Ürün Kalite Planını kullanmaları QS 9000' deki izlenen gelişmelerdi. (Usuğ , 2002)

Tablo 5.1: FMEA Yayınlarından Bir Kısımının Listesi (Steven ve Ishii, 2000)

Yıl	FMEA Yayını
1964	“Failure Effect Analysis”, Transactions of NY Acad. Of Sciences
1974	US Department of Defense Mil-Std 1629 “Procedure for Performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis”
1980	US DoD Mil-Std 1629A
1984	US DoD Mil-Std 1629A/Notice
1985	International Electrochemical Commission (IEC) 812 “Analysis techniques for system reliability-procedure for failure mode and effect analysis”
1988	FORD published “ Potential Failure Modes and Effects Analysis in Design and for Manufacturing and Assembly Processes Instruction Manual”
1994	SAE J1739 Surface Vehicle Recommended Practice
1995	“FMEA: From Theory to Execution” (D.H. Stamatis)
1996	Verband der Automobil Industrie, Germany VDA Heft 4 Teil 2
1996	“The Basic of FMEA” (R.E. Mc.Dermott et al)
1998	Proposal for a new FMECA standard for SAE (J. Bowies)
2000	TS/ISO 16949
2002	AIAG-QS 9000 Third Edition

FMEA ile ilgili standartlar ise aşağıda sıralanmıştır: **Pentti ve Atte (2002)**

- IEC 60812, Uluslararası Elektroteknik Komisyon tarafından yayınlanmıştır.,
- MIL-STD 1629A, 24 Aralık 1980 yılında Amerika Savunma sanayince yayınlanmış olup, otoriteler tarafından 1998 yılında iptal edilmiştir,
- SAE J-1739, Otomotiv Mühendisleri Prosedürü,
- DIN 25448, Almanya, (Ausfallffekten Analyse, Fehler Möglichkeits und Einfluß Analyse)
- BS 5760, İngiltere,

- ISO/TS 16949:2002, Uluslararası Standardizasyon Enstitüsü,
- AIAG-QS 9000, Otomotiv Endüstrisi Hareket Gurubu,
- AMDEC, Renault Şirketinin (Analyse des Modes de Defaillance, de leurs Effets, et de leur Criticite),
- IEEE STD 352-1975, General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generation Protection System.

5.3 FMEA' nın Uygulanma Nedenleri ve Özellikleri

1980'li yılların başından beri kalite alanında yapılan çalışmaların, sistem veya ürün/hizmet oluşturulmasının her aşamasında karşılaşılabilecek sorunları belirleyip ortadan kaldıracak, böylece hem güvenilirliği arttıracak, hem de kalitede sürekli iyileştirme sağlayacak teknikler geliştirme üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Sürekli iyileşme, geçmişteki sorunların öğrenilerek, gelecekte onların yeniden ortaya çıkmalarının önlenmesiyle gerçekleşecektir.

Yazılı kaynaklarda kısaca FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) olarak tanımlanan Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) de bu amaca hizmet eden bir tekniktir. Bu teknik, gelecekte ortaya çıkması söz konusu olan olası hata şekillerini, bunların olası etkilerini ve olası nedenlerini belirleyip, ortaya çıkmalarını önlemeyi amaçlar. FMEA, ürünün tasarım veya prosesini geliştirme ve geliştirme yorumlamada yararlanılabilecek niceliksel bir tekniktir. FMEA, bu özelliklerinden dolayı Toplam Kalite Yönetimi'nde önemli bir yere sahiptir. Toplam Kalite Yönetimi'nde kaliteyi üretmek hedeflenir. Burada kontrol önemli olmakla beraber kontrol yoluyla hatayı yakalamak, istenen başarıya götürmemektir. Bunun yerine hatanın oluşum nedenlerine inerek ortaya çıkışını önlemek, dolayısıyla kusursuzluğu hedeflemek gerekmektedir. (Boran, 1996)

FMEA' da değerlendirmenin analizi iki farklı şekilde olabilir: Birincisi, hatayı tanımlamak için geçmişe yönelik verileri kullanmak; (benzer ürün veya servisler için benzer verilerin analizi) garanti verileri, müşteri şikayetleri ve diğer uygun hazır veriler. İkincisi, istatistiksel sonuçlar, matematiksel modeller, simülasyonlar, eş zamanlı mühendislik ve güvenilirlik mühendisliği gibi yöntemler hataları tanımlamak ve belirlemek amacıyla kullanılabilir. (Yılmaz, 1997)

FMEA' da kullanılan bir yaklaşımın diğerinden daha iyi veya birinin diğerinden daha doğru olduğu anlamına gelmez. Her ikisi de gereği gibi ve uygun bir şekilde kullanıldığı takdirde etkin, doğru ve uygun olabilir. (Yılmaz, 1997)

Gereği gibi ve uygun yönetilen herhangi bir FMEA sistem, tasarım, proses ve serviste mevcut olan riski (iş) azaltabilecek yararlı bilgiler sağlayacaktır. Bundan dolayı mantıklı ve gelişen bir potansiyel hata analiz metodu (yöntemi) görevlerin daha etkin yapılmasına müsaade eder.

FMEA sistem, tasarım, proses ve serviste hatalar müşteriye ulaşmadan önce, erken safhalarda önleyen en önemli yaklaşımlardan biridir. (Stamatis, 1995)

Müşteri memnuniyetini sağlamak için ürün kalitesi ve servis bir numaralı öncelik olmalıdır.

Misyon, müşteri memnuniyetini kalitenin sürekli gelişimi ile artırmaktır. (Hata, kusur, yüksek maliyet gibi, müşteriye rahatsız eden unsurların sürekli eliminasyonu). Amaçları desteklemek için işletme pek çok kalite ölçütü kullanmalıdır. Bu ölçütler için bazen gösterge, kritik veya anlamlı karakteristikler tabirleri de kullanılır. (Stamatis, 1995)

Bu karakteristiklerin seçiminde anahtar, kalite problemlerini ürün müşterinin eline geçmeden önce saptama ve çözme yeterliliğidir (veya müşteri memnuniyetsizliğini ölçme yeterliliğidir); (Yılmaz, 1997)

Kritik Karakteristikler, Yasal düzenleme veya ürün veya hizmet emniyetini etkileyebilen karakteristikler. Bu karakteristikler resim ve/veya prosedürlerde (FMEA fonlarındaki gibi) belirlemelidir.

Anlamlı Karakteristikler, Proses, ürün veya hizmet kalite özelliklerinin toplanması gereken verileridir. Şekil 5.1' de FORD Motor Company' nin FMEA ile ilgili diğer mevcut optimum tasarım araçları görülüyor. Anahtar Karakteristikler, prosese hızlı seri bildirim sağlayan ölçü göstergesi. kalite sorunlarının hızlı bir şekilde düzeltilmesine olanak sağlarlar. Müşteri memnuniyetsizliğinin (kalite sorunu ile ilgili) kalitatif ve kantitatif ölçümü gibi. FMEA' da üç tip anahtar karakteristik vardır. (Stamatis, 1995)

- Rehber karakteristik, ürün veya servisin müşteriye ulaşmadan önce değerlendirilip analiz edilebilecek kalite ölçütü,

- Ara karakteristik, sevkiyat veya dağıtım sonrası fakat ürün veya hizmet müşterinin eline geçmeden önce değerlendirilip analiz edilebilecek kalite ölçütü,
- Sabıkalı karakteristik, ürün veya hizmet müşterinin eline geçtikten sonra müşteri memnuniyetini ölçmek için kalite ölçütünün değerlendirilip analiz edilmesi

FMEA' nın yinelemeli (iteratif) özellikteki prosedürü ile olası hatalar tanımlanır; her bir olası hatanın nedenleri belirlenir; müşteri üzerindeki etkileri değerlendirilir, uygulanan kontroller gözden geçirilir; düzeltici faaliyetler önerilir ve bunların uygulanması izlenir. Bu uygulama sürecinden FMEA' nın aynı zamanda bir sistem analizi tekniği ve bazılarının anladığı şekilde olası hataları alfabetik olarak listeleyen bir teknik olma yerine, kaliteyi geliştirmeyi sağlayan sistematik ve analitik kalite planlama aracı olduğu görülmektedir. **(Boran, 1996)**

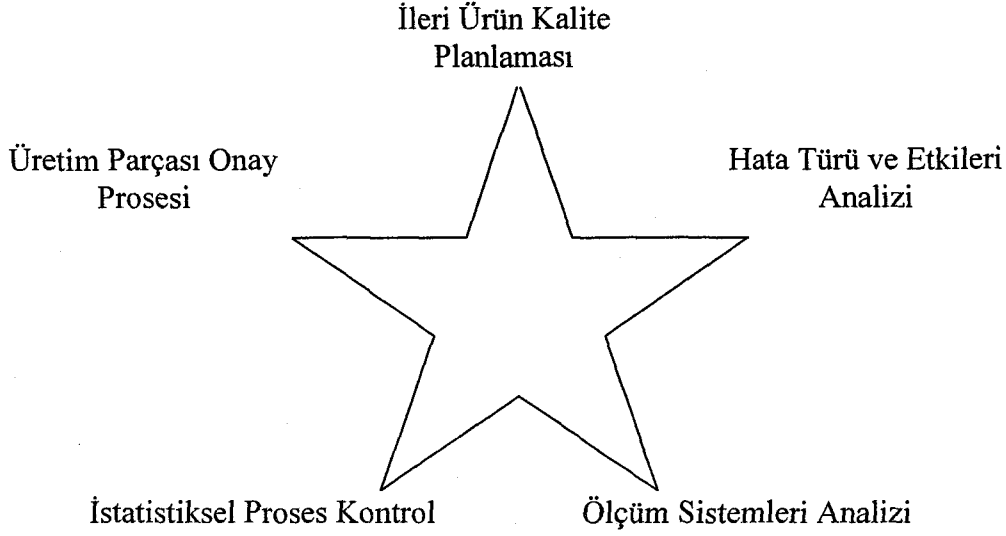
Burada hata türleri ve etkileri arasındaki ilişkilerin karmaşık olabileceği unutulmamalıdır.

Örneğin, bir tek sebep bir çok etkileri oluşturabilir veya bir çok etkinin sebebi tek olabilir.

Daha da karmaşık hale getirilirse nedenler başka sonuçlarında nedenleri olabileceği gibi, etkiler de diğer etkilere etken olabilir .

Benzer şekilde Otomotiv Endüstri Hareket Grubu (AIAG- The Automotive Industry Action Group-QS 9000) göre ise FMEA' da, bir bileşen, alt sistem veya sistem tasarım çalışmalarında potansiyel hatalarla karşılaşılabilir. Potansiyel hata türleri, daha üst kademelerdeki alt sistemler veya sistemler veya daha alt kademedeki etkilerin etkisi içerisinde potansiyel bir hatanın nedeni olabilir. **Steven ve Ishii (2000)** Aynı zamanda FMEA, Şekil 5.2 gösterildiği gibi QS-9000 beş ana unsurundan biridir. **(Usuğ, 2002)**

FMEA' nın riskleri azaltma yollarını arayan bir teknik olması, işin en iyi şekilde yapılmasını bir sonraki aşamaya hatasız ulaşmasını sağlayacaktır. Böylece ortaya çıkabilecek olası hataların FMEA ile önlenmesiyle tasarımlar, prosesler ve sistemler daha güvenilir olacaktır. **(Boran, 1996)** Bu özelliklerinden dolayı FMEA şekil 5.3' de de gösterildiği üzere , Toplam Kalite Sistemi içerisinde de önemli bir role sahiptir. **(Usuğ, 2002)** FMEA aynı zamanda birçok kararların verildiği bir süreci içerir. Olası hata şekillerinin, nedenleri ve etkilerinin neler olacağı, çeşitli olası durum ve koşullar değerlendirilerek kararlar verilmesiyle belirlenir. Ancak bu kararlar belirsizlik altında verildiğinden bu durumda FMEA, risk altında karar verme yöntemi olarak da tanımlanır.

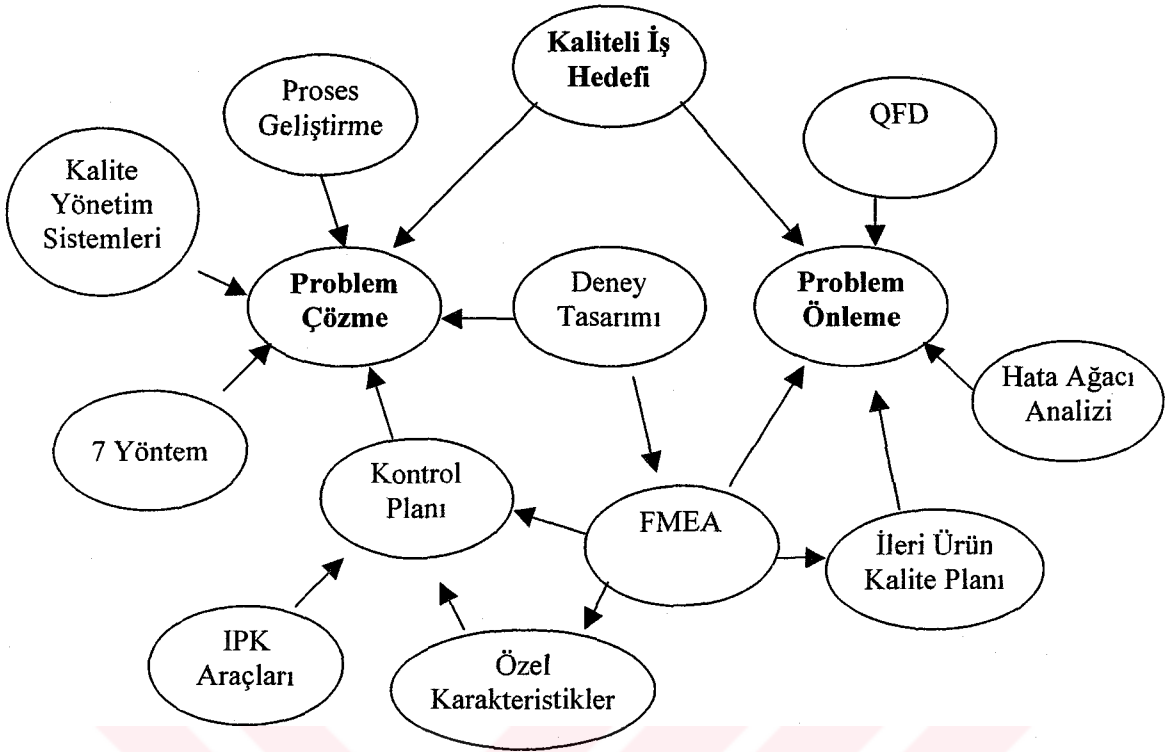


Şekil 5.2: QS 9000 Ana Unsurları (Usuğ, 2002)

FMEA ile elde edilen bilgiler tasarımda, üretim sürecinde değişiklikler yapma, kullanılan malzemeyi değiştirme, kalite kontrol ve kalite muayene ölçütlerini tekrar gözden geçirme gibi kararların verilmesinde kullanıldığından, yöntem böylece karar verme aracı olarak da değerlendirilir. (Boran, 1996)

FMEA tekniğinin kullanım amaçları şu şekilde özetlenebilir; (Vorley, 1999)

- “İlk seferde doğru yap”,
- Ürünlerin tasarım ve imalatıyla ilgili olası hata şekilleri ve nedenlerini belirleyip değerlendirmek,
- Olası hatanın ortaya çıkma şansını ortadan kaldırmak veya azaltmak için gerekli faaliyetleri belirlemek,
- Uygulama sürecini yazılı hale getirmek.
- Testler ve denemeleri birkaç ürün ile sınırlandırmak,
- Kural koyucu nedenler,
- Sürekli gelişim,
- Önleyici yaklaşım,
- Takım İnşası



Şekil 5.3: Toplam Kalite Sisteminde FMEA' nın Rolü (Usuş, 2002)

5.4 FMEA Projesini Başlatma

FMEA bilinen veya potansiyel problemlerin eliminasyonu ile müşteri memnuniyetini maksimize eden bir metodolojidir. FMEA mümkün olduğunca erken, hatta bütün gerçekler ve bilgiler mevcut değilken başlatılmalıdır. Gerçekten, başlamak için en iyi zaman var mıdır? Evet, bazı bilgiler oluşur oluşmaz FMEA başlamalıdır. Uygulamacılar bütün bilgilerin toplanmasını beklememelidir. Şayet, bu beklenirse FMEA asla yürütülemez. Çünkü bütün veri ve bilgilere hiçbir zaman sahip olunamaz. Gerçekten, ön hazırlık bilgileri ile bazı sistem kısıtları ve tasarım tanımları geliştirilebilir. FMEA hazırlığındaki bu ön fikirler Şekil 5.1'de gösterilmiştir. (Stamatis,1995)

Açık olarak, FMEA programı, aşağıdaki gibi durumlarda başlatılmalıdır. (Akın, 1998)

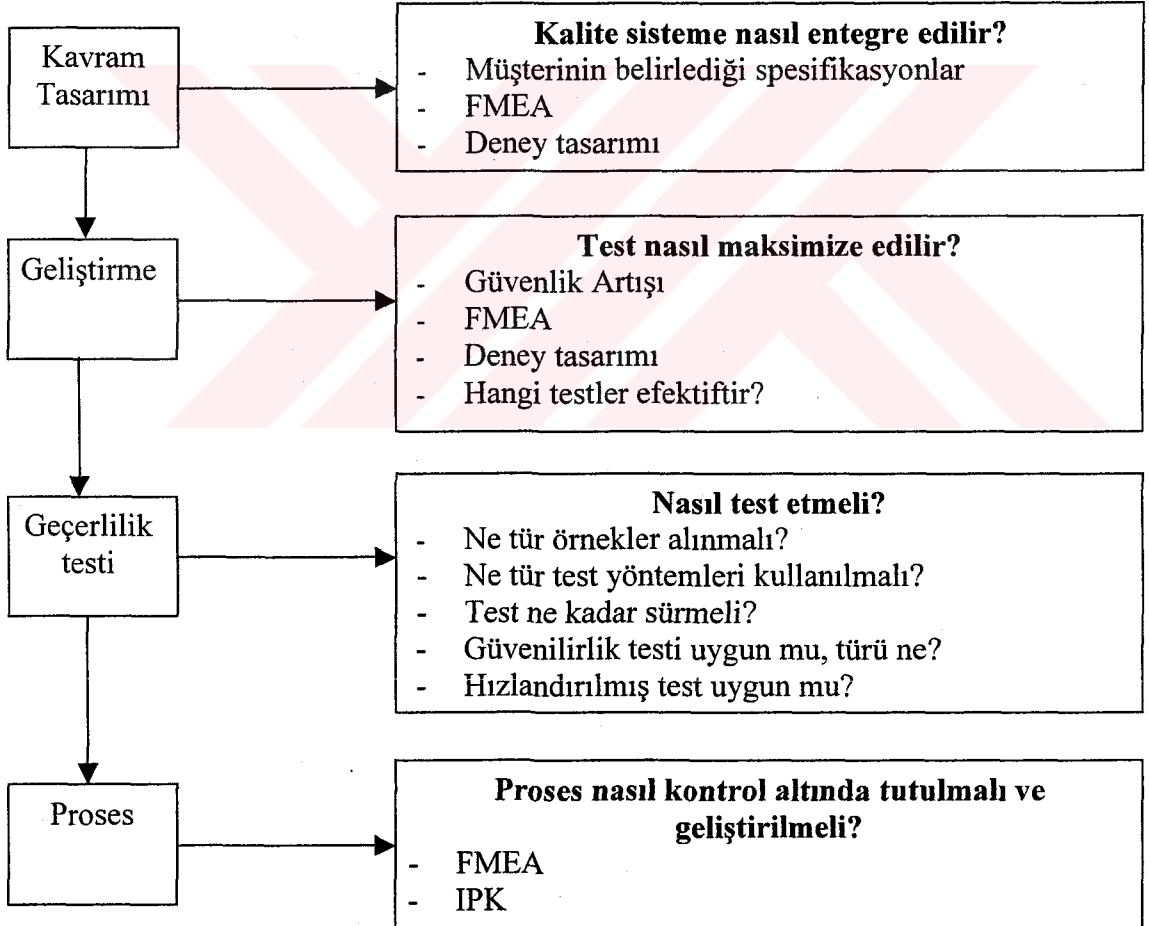
- Yeni sistemler, tasarımlar, ürünler, prosesler veya servisler tasarlanırken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler sebeplerine bakılmaksızın değiştirilirken,

- Mevcut koşullardaki sistem, tasarım, ürün proses veya servisler için yeni uygulamalar bulunurken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servislerin geliştirilmesi düşünüldüğü zaman.

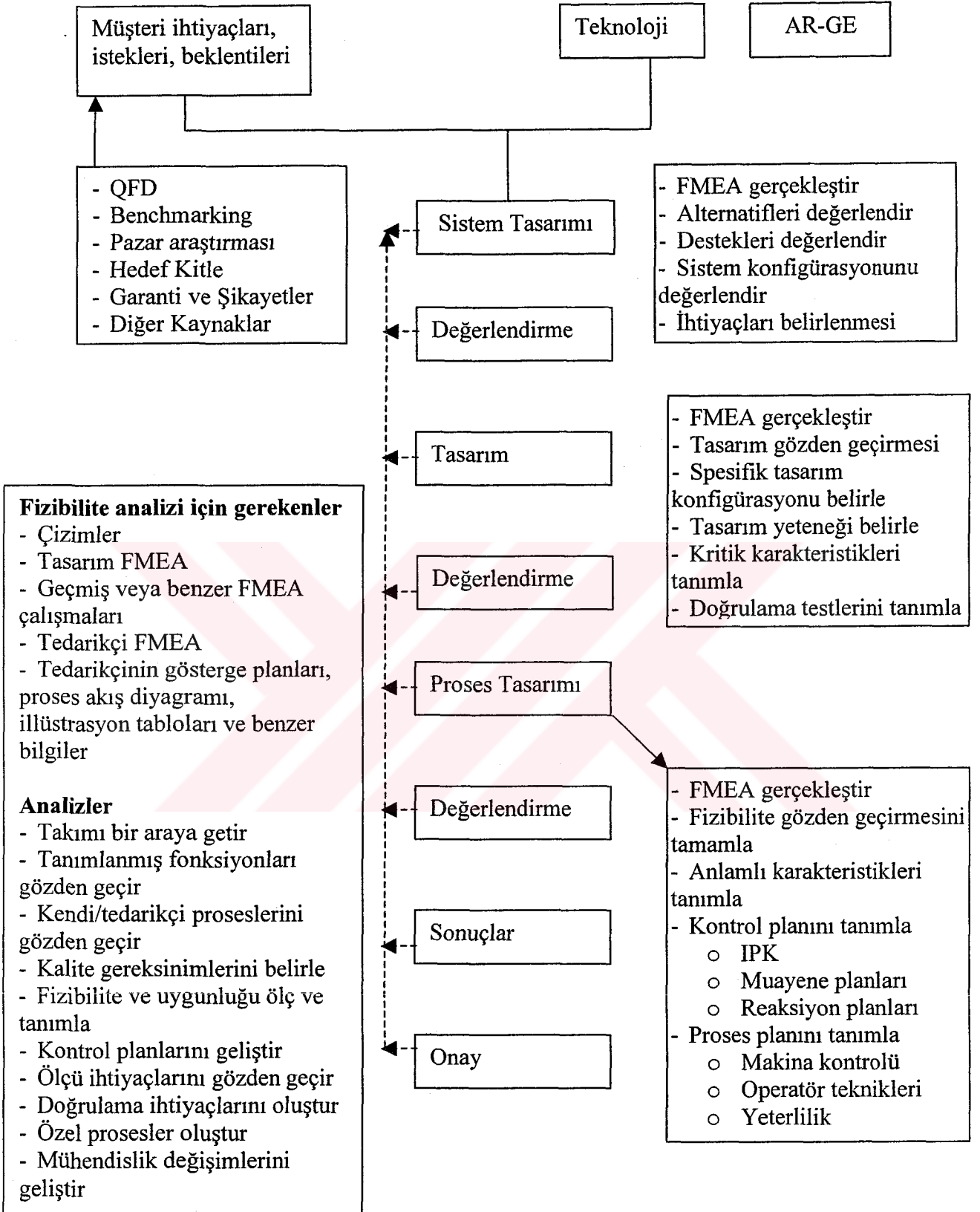
FMEA, sürekli gelişim yolunun haritasıdır. Bu özelliği ile FMEA sistem fikrinden üretim ve servise kadar her aşamada başlatılabilir. Bu yol haritası Şekil 5.4' de gösterilmiştir.

FMEA başladıktan sonra, yaşayan bir doküman olur. Sürekli gelişimin gerçek bir dinamik araçtır. Başlangıç aşamasına bağlı değildir. Sistem, tasarım, ürün, proses veya servis süreçlerinin gelişimi için bilgileri kullanır. Sürekli olarak, gerektikçe güncelleştirilir.

Tasarımın değerlendirilmesi, Şekil 5.5' de verilmiştir.



Şekil 5.4: Ürün Mühendisliği ve FMEA'nın Yol Haritası (Stamatis, 1995)



Şekil 5.5: Tasarımın Değerlendirilmesi (Stamatis, 1995)

5.5 FMEA Projesini Sona Erdirme

FMEA' yı sona erdirmenin belli bir zamanı var mıdır? Evet, sadece, sistem, tasarım, ürün, proses veya servisin sona erdirilmesi veya sürdürülmesi kararı verildiği zaman. Açık olarak;

- Sistem FMEA, bütün donanımın belirlendiği ve tasarımın son şeklini aldığı noktada,
- Tasarım FMEA, üretime geçişin kesin tarihi saptandığında,
- Proses FMEA, bütün proseslerin belirlendiği, değerlendirildiği ve bütün kritik ve anlamlı karakteristiklerin kontrol planlarına taşındığı anda,
- Servis FMEA, sistem tasarımı ve bireysel görevlerin tanımlandığı.

değerlendirildiği ve bütün kritik ve anlamlı karakteristiklerin kontrol planlarında adreslendiği zaman sona erdirilmesi düşünülebilir.

Bununla beraber, bu noktalarda sona erdirilmiş FMEA çalışmaları, gözden geçirme, değerlendirme ve/veya sistem, tasarım, ürün, proses veya servisin geliştirilmesinde, tasarım, ürün, proses veya servis var oldukça tekrar FMEA çalışmalarına açık olmalıdır. Genel bir kural olarak FMEA ürün ömrü süresince güncel olmalıdır. (Stamatis, 1995)

FMEA' nın başarısı, çıkarılan sonuçları iyileşme ve gelişme programlarına dönüştürülmesiyle gerçekleşir. Organizasyonun tamamı tarafından bu gelişme stratejisi kabul görmediği durumlarda FMEA dinamiklik özelliğini yitirir. (Akın, 1998)

5.6 FMEA Çalışma Ekibini Oluşturma

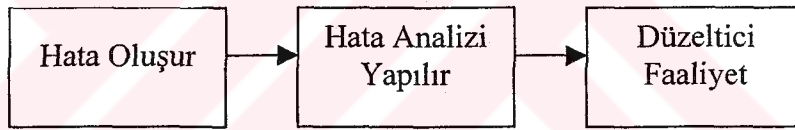
FMEA, bir takım fonksiyonudur ve bireysel olarak yapılamaz. FMEA projeleri, spesifik projeye uygun bir takım tarafından yürütülür. İşletme belli kişilerden oluşmuş bir FMEA takımı kurarak tüm FMEA projelerini bu takıma yaptıramaz. Takım proje bazında kurulmalıdır. Spesifik bir problem için gerekli bilgi ve deneyim sadece bu spesifik probleme özgüdür. Bu sebeplerden dolayı, takım her bir FMEA projesi için fonksiyonlar arası ve disiplinler arası olmalıdır ki analiz çok yönlü olsun. Hiç bir durumda FMEA bir birey (tasarım veya proses mühendisi) tarafından yapılamaz. (Stamatis, 1995)

Bir birey FMEA formunu uygun olarak doldurabilir fakat tek bir birey FMEA yürütümünde sınırlı bir bakış açısına ve önyargılara sahip olabilir. Eğer, zaman kısıtı bütün takımın çalışmalara katılmasına müsaade etmiyorsa, tavsiye edilen yöntem, FMEA takım liderine hataları takım huzurunda sunması ve tüm takım üyeleriyle değerlendirmenin yapılmasıdır. (Stamatis, 1995)

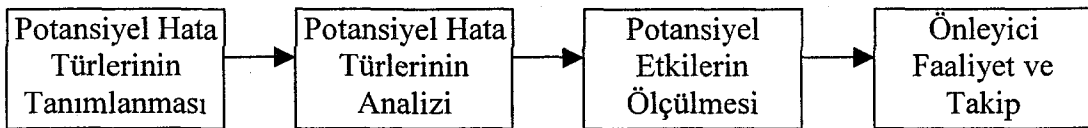
FMEA ile içerilen kavram ve prosedürler yeni değildir; tasarım, planlama ve üretim faaliyetlerinde yer alan mühendisler, eskiden beri bu yöntemi, yöntemle ilgili çeşitli görüşleri ele alarak, kağıda dökmeden zihinlerinde şekilsel olmayan (informal) bir yapıda uygulamaktaydılar. Deneyimlerini esas alarak oluşturdukları düşüncelerini çok seyrek olarak herhangi bir kağıda karalamak şeklinde aktarmaktaydılar. Mükemmeli yakalamada etkin bir analitik teknik olan FMEA, bugün oluşturulmuş belirli bir düzen içerisinde gerçekleştirilirken yine çalışanların deneyim ve düşüncelerinden yararlanmaktadır. (Boran, 1996)

FMEA' nın çalışanların bilgi ve deneyimlerini zorlamasından dolayı, Şekil 5.6'da da gösterildiği üzere, oluşturduğu sistem reaktif sistem yerine proaktif sistem halini almaktadır. (Usuç, 2002)

REAKTİF SİSTEM



PROAKTİF SİSTEM



Şekil 5.6: Reaktif (Tepkisel) İle Proaktif (Önleyici) Sistemin Karşılaştırılması (Usuç, 2002)

FMEA takımı, direkt yönetilip ve bir konu üzerine odaklanmayı sağlarsa, kendi spesifik yöntemlerini kullanırlarsa, ölçülebilir değerler kullanırlarsa ve bu çalışmaları organizasyon içerisine yayabilirlerse başarılı olurlar. (Cayman, 2002)

Bütün çalışmalar dikkate alındığında, FMEA' nın üç ila yedi kişiden oluşan bir ekip olması ve katılan çalışanların değişik departmanlarda çalışması başarıyı artırıcı etkindir.

Ekip elemanları hem bulundukları bölümün temsilcileri olup hem de kalite temsilcisi olmasından dolayı bulundukları departmanda diğer çalışanları teşvik etmelidirler. FMEA takım liderine FMEA animatörü denilmektedir. (Akın, 1998)

5.7 FMEA Yararları

FMEA' nın yararları aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Vorley, 1999)

- Ürünlerin veya hizmetlerin kalite, güvenilirlik ve emniyetini geliştirir,
- Şirketlerin toplumdaki imajını ve rekabet edebilirliğini geliştirir,
- Müşteri tatmininin artmasına fayda eder,
- Riski azaltmak için yapılan faaliyetlerin izlenmesini ve belgelenmesini sağlar,
- Tezgahlarda, donanımda ve kalıplarda olası değişikliklerin daha tasarım sırasında görülmesini ve kağıt üzerinde yapılan değişikliklerin maliyetinde azalma sağlar,
- Muhtemel hataların önceden görülmesi ve elimine edilmesi sonucunda, ürünün hazır olma ve pazara sunuş süresini kısaltır,
- Müşteri kullanımı sonrasında oluşacak hatalarında dikkate alınıp önlenmesi sonucunda garanti giderlerinde azalmanın sağlar,
- Ürün yükümlülüğünde daha az risk alınır,
- Azalan süreç içi hurdalar, erken işbirliği, planlama kabiliyetindeki artış, hata maliyetlerinde azalma, sistemin tümüne bakabilme vs....

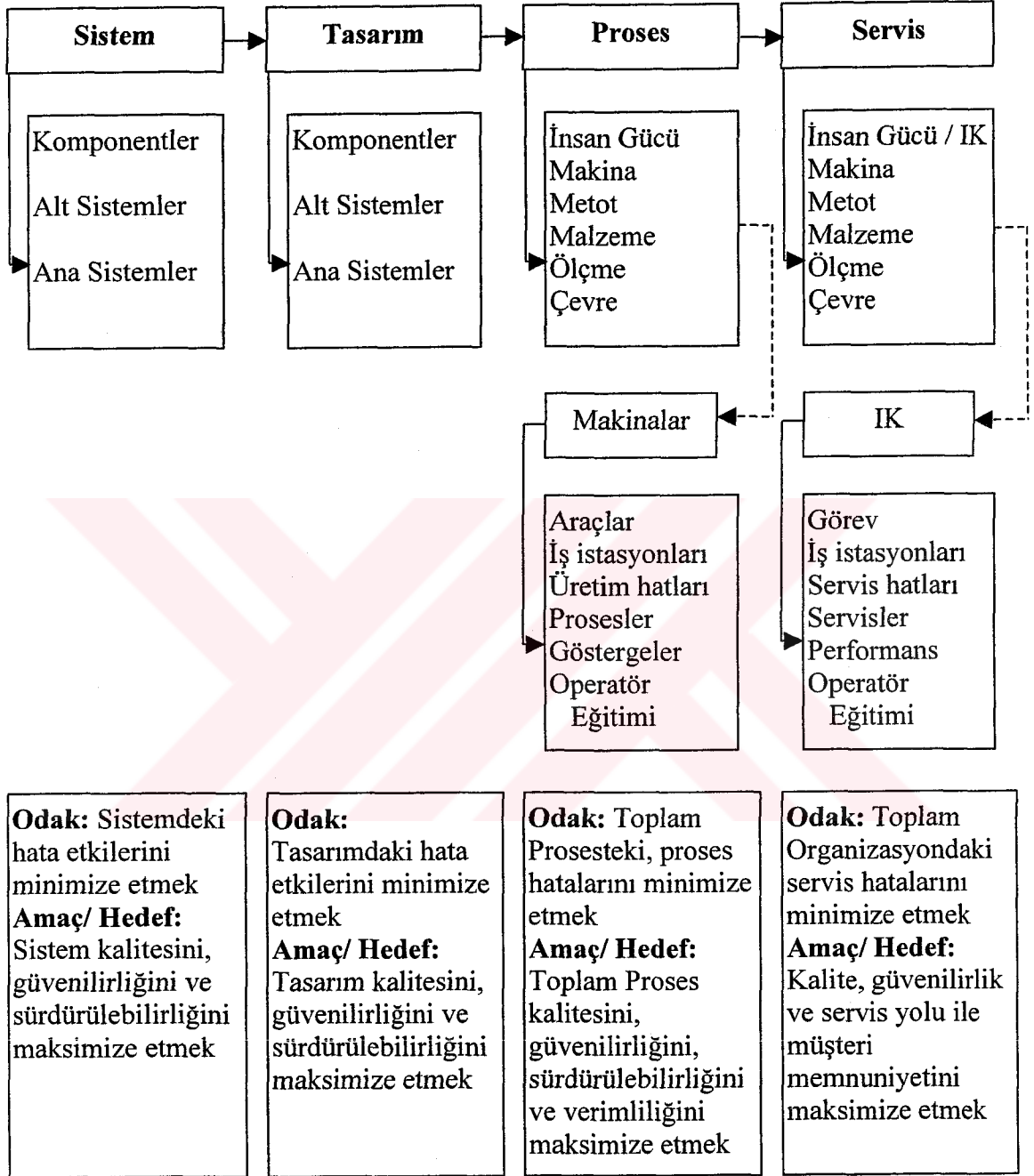
5.8 FMEA Çeşitleri

Yeni veya varolan bir ürün veya hizmet geliştirme amacı kullanılan tekniklerden biri olan FMEA sırasıyla sistem, tasarım, proses ve servis adımlarından oluşmaktadır.

FMEA genel kullanım alanlarına göre,

- Sistem FMEA,
- Tasarım FMEA,
- Proses FMEA,

- Servis FMEA, olmak üzere dört çeşide ayrılmaktadır. (Stamatis,1995) Şekil 5.7’ de FMEA çeşitleri ve aralarındaki ilişkiler gösterilmektedir.



Şekil 5.7: FMEA Çeşitleri (Stamatis, 1995)

5.8.1 Sistem FMEA

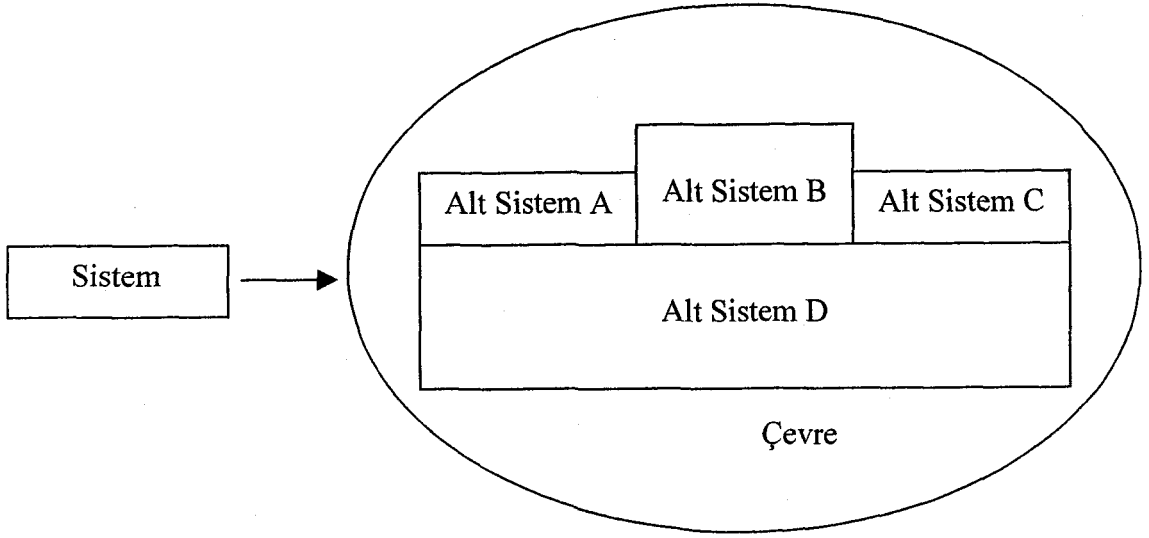
Tasarım ve kavramların ön aşamalarında sistem ve alt sistemleri analiz ederek, sistem eksikliklerinden doğan sistem fonksiyonları arasındaki hata türlerini belirlemeye odaklanır. (Akın,1998) Sistem FMEA, aşağıda belirtilen sistem kademelerini ve aralarındaki ilişkileri ayrıntılı inceleyerek en uygun tasarım alternatifinin seçilmesine yardımcı olur. (Mohr, 2002)

- Sistem, görevi bir misyonu veya işlevi başarmak olan alt sistemlerin birleşimi (materyal, araç, personel, olanaklar, yazılım vs.),
- Alt sistem, fonksiyonları bir misyonu başarmak için gerekli spesifik aktiviteleri elde etmek için birleştirilen montajlar birleşimi,
- Montaj, alt montajların birleşimi,
- Alt montaj, bileşenlerin birleşimi,
- Bileşen, parçaların birleşimi,
- Parça, en düşük üretilebilen parça,
- Etkileşim, sistem elemanları arasında istenilen ve temel etkileri üretmek için gerekli etkileşim noktalarıdır (enerji ve bilgi transferi etkileşimi vs..)

Daha da anlaşılır hale getirmek için, sistem ile alt sistem arasındaki ilişki Şekil 5.8' de resmedilmiştir. Alt sistem A, hem alt sistem B hem de alt sistem D ile etkileşim halinde olup etkileşim halinde olmadığı alt sistem C ile çevre içerisindeki transferler yolu ile bağlantı kurmaktadır. Alt sistem A ile alt sistem C arasındaki ilişkiyi tahmin etmek oldukça zordur. Carlson ve diğ., 2001

Sistem FMEA, etkin olarak uygulandığı zaman hata türü ile güvenlik konularını ortadan kaldıracak ve hataları azaltacak potansiyel faaliyetlerin listesini belirleyebilecek olup faydaları aşağıda sıralanmıştır; (Akın,1998)

- Potansiyel problemlerin bulunabileceği alanlar daralır,
- Sistem seviyesindeki teşhis prosedürleri için temel oluşturulmasına yardımcı olur,
- Fazlalıkların tespit edilmesine yardımcı olur,
- Optimum sistem tasarım alternatifinin seçilmesinde yol gösterir.



Şekil 5.8: Sistem ve Alt Sistem Arasındaki Etkileşim (Carlson ve diğ. 2001)

5.8.2 Tasarım FMEA

Tasarım FMEA, ürünün imalatına başlanılmadan önce uygulanan, ürünün imalatında, montajında ve müşteri tarafından kullanımında ortaya çıkabilecek tasarımdan kaynaklanan arızaların bulunması ve önlenmesi tekniğidir. (Usuş, 2002)

Tasarım FMEA, ürünün güvenilirlik ve/veya emniyetine çok zarar verebilecek herhangi bir kritik durumu veya durumları veya zayıf noktalarını belirlemek için, tasarım analiz etmenin bir yoludur. (Özay, 1999)

Tasarım FMEA, ürünlerin üretim kararı verilmeden önce uygulanır. Tasarımdaki hatalardan dolayı hizmet veya imalat aşamalarında ortaya çıkabilecek olası ürün hata şekillerini ele alır.

Tasarım bütünlüğünü sürekli kılmak amacı doğrultusunda, tasarım aşaması dışında imalat, montajda, donanımda ve müşterinin kötü kullanımından dolayı üründe oluşacak tasarımla ilgili sorunları tanımlar. Bu teknik ile, sistem veya bileşenlerin güvenilirlik riskleri yazılı hale getirilir, her hata türünün etkisi analiz edilir ve düzeltici faaliyetler yani tasarım değişiklikleri tanımlanır. Tasarım FMEA, tasarımın değerlendirilmesine yardım etmek ve düzeltici faaliyet öncelikleri oluşturulması esaslarını sağlamak için tasarımın ilk aşamasından son aşamasına kadar sürekli olarak

uygulanmalıdır. Tasarım FMEA yinelemeli (iteratif) yapısıyla, bu isteğe uygunluk gösterir. (Boran, 1996)

Efektif bir Tasarım FMEA çalışması için, değişim mühendisliği, ürün geliştirme, pazarlama vb bütün teknik ve yöntemler ile iç içe olmalıdır. Şekil 5.9.' de diğer mühendislik disiplinleri veya süreç geliştirme teknikleri ile Tasarım FMEA' nın parçaları geliştirirken beraber oynadıkları rol belirtilmiştir. En optimum tasarım özelliklerini belirleme çabasında olan Tasarım FMEA başarısı için aşağıdaki bilgilerin realize edilmesi ve sistematığe uyulması gerekmektedir.

- Tasarıma odaklanma,
- Uyulması gereken dokümanlar,
 - 1. Standartlar,
 - 2. Güvenlik ve uyarı dokümanları,
 - 3. Benzer ürünler için geçerli dokümanlar,
- Genel bilgiler,
 - 1. Ürün fonksiyonları
 - 2. Müşterilerin ne istediklerini anlama,
 - 3. Müşterilerin ihtiyaçları, istekleri ve beklentileri,
 - 4. Müşterilerin doğru veya yanlış kullanabileceğini anlama,
- Gereksinimler,
 - 1. Tasarım gereksinimleri,
- Elektriksel,
- Mekaniksel,
- Geçerliliği,
- Hizmet ömrü,
- Güvenlik,
- Materyaller,
- Çevre,
- Kontroller,

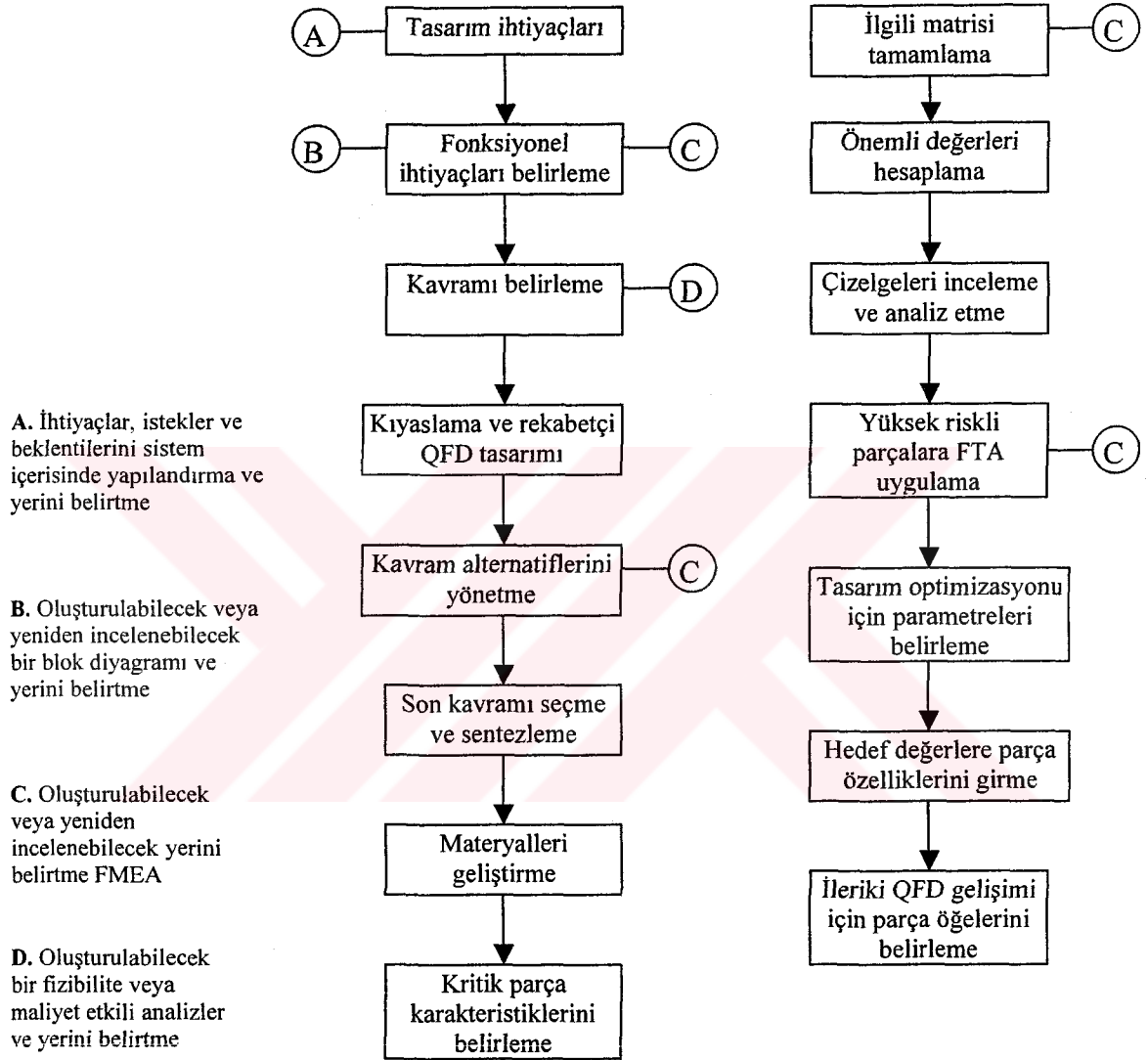
- Parça standardizasyonu,
 - 1. Bakım düşünceleri,
 - 2. Maliyet amacı,
 - 3. Tasarım alternatifleri,
 - 4. Kritik sistemler,
- Ürün garantileri,
 - 1. Dokümantasyon gereksinimleri,
 - 2. Test ve muayene gereksinimleri,
 - 3. Paketleme ve taşıma gereksinimleri, **(Stamatis,1995)**

Tasarım FMEA ile yukarıdaki maddelerden elde edilen bilgiler birçok alanda özellikle test ve muayene noktalarının saptanmasında, önleyici bakımın planlanmasında, işlemsel kısıtların ve faydalı ömrün belirlenmesinde kullanılacaktır. Bu yöntem ile tasarım hatalarının zamanında düzeltilmesi ve tasarım değişikliklerinin yapılması sağlanacağından, ortaya çıkacak hataları gidermek için harcanacak zaman kısıllacak, insanlar hataların olumsuz etkileriyle karşı karşıya gelmeyecektir. Böylece ürün veya sistem güvenilirliği ve emniyetinde artışlar sağlanmış olacaktır. Bundan dolayı tasarım FMEA, tasarım yaklaşımlarıyla ilgili kararların verilmesinde ve tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesinde yararlı bir araç olarak tanımlanır. **(Boran, 1996)**

Tasarım FMEA' nın sağladığı yararları şu şekilde özetlenir; **(Ford, 1988)**

- Tasarım istekleri ve tasarım seçeneklerinin objektif değerlendirilmesine yardım eder,
- Olası Hata şekilleri ve sistemin çalışmasında bunların etkilerini tasarımın gelişme aşamasında göz önünde tutulmasını sağlar,
- Gelişme ve iyileşme programları ve planlarında kullanılacak bilgiyi sağlar,
- Müşteri üzerindeki etkilerine göre listelenen olası hata şekillerini kullanarak tasarım geliştirmede öncelik sistemini oluşturur,
- Performansları azaltan riskleri izlemek ve sorunlarla ilgili önerilerde bulunmak amacıyla kolaylıkla anlaşılabilir ve değerlendirilebilen genel şekilsel form (FMEA Formu) oluşturulmasını sağlar,

- İlgili kişilerin düşüncelerinin analiz edilmesi, tasarım değişikliklerinin değerlendirilmesi ve önerilen tasarımların geliştirilmesi aşamalarında yararlanacakları kaynak olur.



Şekil 5.9: Parça Geliştirme (Stamatis,1995)

Tasarımdaki olumsuzluklar, ürünün imalatı esnasındaki, imalat süreci kontrol yöntemleri ile giderilemeyeceğinden, imalat sürecine güvenmeyi bırakıp çıkacak sorunlar başlangıçta Tasarım FMEA aşamasında önlenmeye çalışılmalıdır. Tasarım FMEA tekniğinde iki yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşımda, sistem ya da ürün bir bütün

olarak ele alınarak başlanır ve en alt birime kadar analiz edilir. İkincisinde ise ki uygulamada da kabul görendir, parça bileşen gibi sistemlerin en alt düzeyindeki birimlerden başlanır, alt montaj, alt sistem gibi aşamaları geçerek sistemin ya da ürünün en son düzeyine kadar ilerlenir. (Boran,1996) Yani, ürün, kolay incelemek amacı ile bölümlere, alt elemanlara ayrılır; mühendislik dizayn verileri gözden geçirilir. Her bir montaj elemanının fonksiyonları, etkileri, ilişkileri değerlendirilir. Blok diyagramları kullanılır. Blok diyagramında montaj elemanları ve fonksiyonları listelenir.

Ürüne etkisi olabilecek operasyonel ve çevresel hata mekanizmaları tespit edilir; elemanların potansiyel hataları belirlenir. Bazı elemanların birden fazla potansiyel hataya sahip olması mümkündür. Potansiyel hataların bir sonraki montaj operasyonunda veya nihai üründe meydana getirebileceği sonuçlar analiz edilir. Hataları önleyecek veya kontrol altında tutacak düzeltici faaliyetler hazırlanır. Ürün elemanlarının hata olasılıkları deneyimlerden faydalanılarak tesbit edilir, bu veriler doğrultusunda bütün sistemin hata olasılığı güvenilirlik teorisiyle hesaplanır.

5.8.3 Proses FMEA

Proses FMEA, tasarımı yapılmış ürünün en az hata ile müşteriye ulaşmasını sağlamak amacıyla, öngörülen özelliklere uyulmadığında imalat veya hizmet esnasında ortaya çıkacak sorunları tanımlamaya çalışır. Bu amaç gerçekleştirilirken proste yapılacak iyileştirmeler, bu tekniğin aynı zamanda proses geliştirme yaklaşımı olarak tanımlanmasını sağlar . Proses FMEA, kusursuz ürünler üretmek için analizcilere montaj veya imalat proseslerinde kullandıkları makinaları, aletleri, prosesleri ve insan gücünün etkilerini analiz ederek, imalat proseslerini değerlendirebilme yani zayıf noktalarını belirleme olanağını verir.(Boran, 1996)

Donanım hataları, çalışanların hataları, uygun olmayan malzeme ve yöntemlerin kullanımı sonucu oluşan hatalar, Proses FMEA ile ürün üretime girmeden önce belirleneceğinden kusurları düzeltmek kolay olacaktır. Ancak, makina, malzeme, insan, yöntem, ölçme ve çevre olarak tanımlanan üretim bileşenlerinin arasında etkileşimlerin olması Proses FMEA' nın daha zor ve zaman alıcı olarak tanımlanmasına neden olmaktadır. (Stamatis, 1995)

Proses FMEA; Carlson ve diğ. (2001)

- Proses fonksiyonlarını ve ihtiyaçlarını tanımlama,

- Ürün veya proses ile alakalı potansiyel hata türlerini tanımlama,
- Potansiyel hataların müşterilere etkilerini değerlendirme,
- Potansiyel hata durumlarını belirleme veya meydana gelişlerini azaltmaya odaklanan proses değişkenlerini ve montaj veya üretim proses nedenlerini tanımlama,
- Proses kontrollerine odaklanan proses değişkenlerini tanımlama,
- Düzeltici ve önleyici hareketleri inceleyen öncelikli sistemleri kurma,
- Üretim veya montaj proseslerinin sonuçlarını dokümanlaştırma, amacıyla kullanılır

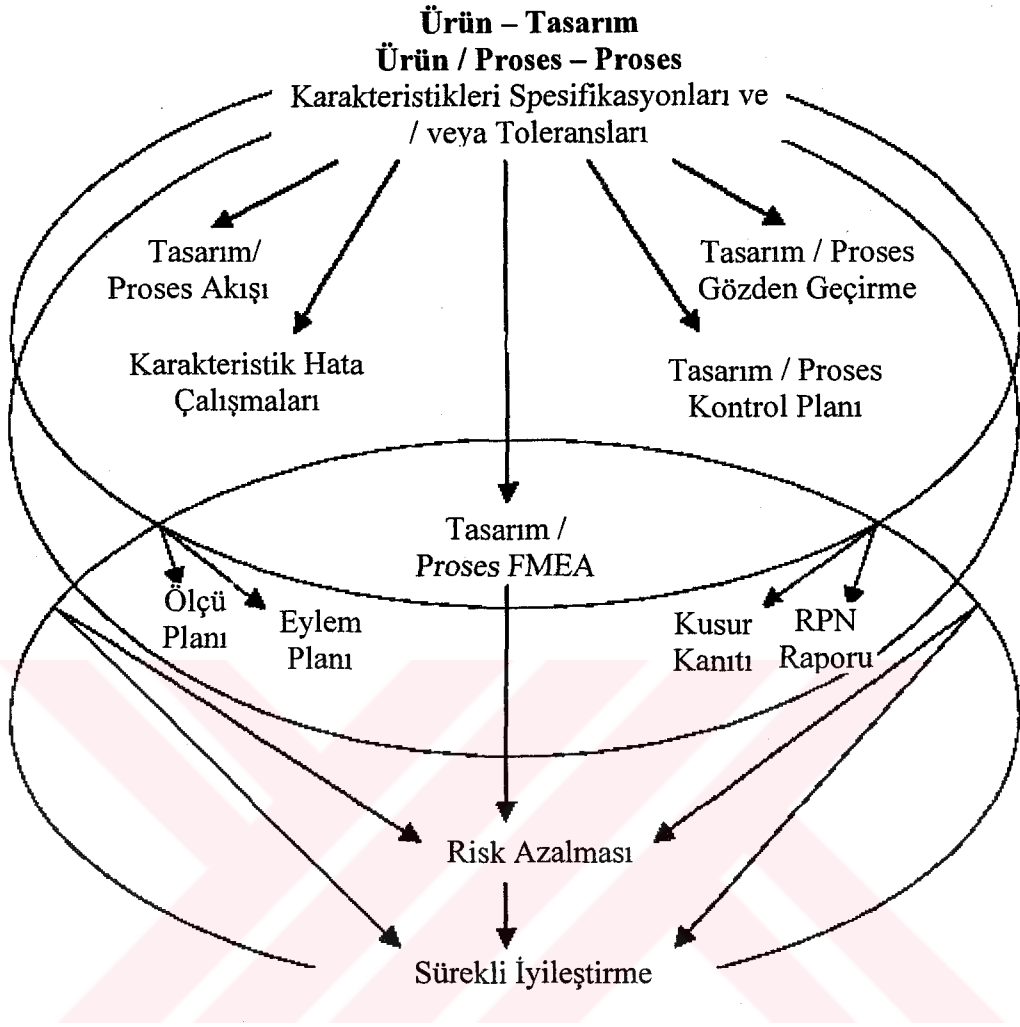
Etkin bir Proses FMEA; satın alma, araştırma ve geliştirme, üretim, kalite güvencesi, pazarlama gibi temel faaliyet adımlarını da içermeli ve üretim teçhizatının tanımının yapıldığı fakat henüz bunların imalatının yapılmadığı anda yapılmalıdır.

Tasarım FMEA ve Proses FMEA her ikisi de , henüz hatalar oluşmadan ortadan kaldırmayı hedefleyen, ancak ürün veya sistemin farklı aşamalarına uygulanan yaklaşımlardır. Uygulama sürecinde sadece yararlandıkları bilgiler açısından farklılıklar gösterirler. Her iki FMEA çeşidinden de çok olumlu sonuçlar elde edebilmek için yazılı belgelerin (raporların), analiz tamamlandıktan sonra rafta unutulup kalmaması, önerilen düzeltici faaliyetlerin uygulanması sonuçların izlenmesi yani “yaşayan”, “dinamik” belgeler olması gerekir. **(Boran, 1996)** Şekil 5.10’ da Tasarım FMEA ile Proses FMEA’ nın sürekli gelişimdeki önemi gösterilmektedir. **(Werwega, 2002)**

Proses FMEA’ nın sağladığı yararları şu şekilde özetlenir; **(Cayman, 2002)**

- Bir çok üretim planlama prosesi içerisinde yer alan mantıksal mühendislik disiplinlerini formülüze eden sistematigi oluşturur,
- Ürün ile ilgili proses hata türlerini belirler,
- Hataların potansiyel müşteriler üzerindeki etkisini ölçer ve değerlendirir,
- Montaj veya üretim analizlerine yardımcı olur,
- Düzeltici hareketlerin kurulumunu sağlar,
- Değişimlerin oranlarını belgelendirir,

Gelişen kontrol planlarına yardımcı olabilmek için önemli ve kritik özellikleri belirler



Şekil 5.10: Tasarım FMEA İle Proses FMEA' nın Sürekli Gelişime Etkisi (Werwega, 2002)

5.8.4 Servis FMEA

Müşteriye servis henüz ulaşmadan analiz edilmesini sağlar. Bir Servis FMEA proses veya sistem yetersizliklerinden kaynaklanan hata türü nedenleri üzerinde çalışır. (Stamatis,1995)

Bu analizin uygulanmasıyla; geliştirme faaliyetleri arasında önceliklendirme yapılması ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesi sağlanır. İş akışının, sistem ve proses

analizinin etkin bir şekilde yapılması, işteki hataların ve kritik önemli işlerin belirlenmesinde ve kontrol planlarının oluşturulmasında yol göstermesi gibi avantajlar sağlar. (Akın, 1998)

Servis FMEA' nın sağladığı yararları şu şekilde özetlenir; (Cayman, 2002)

- İş akışının analiz edilmesine yardımcı olur,
- Proses ve/veya sistemin analiz edilmesine yardımcı olur,
- Görev tanımlarındaki eksiklikleri tamamlar,
- Kontrol planının gelişimine önemli ve kritik görevleri tanımlayarak yardımcı olur.



6 TASARIM FMEA

6.1 Tasarım FMEA' nın Tanımı

Tasarım FMEA, herhangi bir tasarımdan sorumlu ekip tarafından, tasarımda ortaya çıkabilecek olası hata türlerini 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 tasarım FMEA, tasarlanan bir bileşen, alt sistem veya sistem için ekip düşüncelerinin özetidir. Bu sistemli yaklaşım, bir tasarım mühendisinin herhangi bir tasarım prosesindeki zihinsel disiplini paralelleştirir ve değerlendirilir. (Duman, 2001)

Tasarım FMEA, tasarımla ilgili hususları analiz eder. Bunlardan bazıları; (Duman, 2001)

- Malzemeler
- Ebat ve şekil
- Üretim teknolojileri
- İşlemler
- Fonksiyonel prensipler
- Toleranslar
- Güvenilirlik
- Bakım ve tamir edilebilirlik, vs.

6.2 Tasarım FMEA' nın Kapsamı

Kapsam analizin sınırı ve genişliğidir. Neyin içerilmesini ve neyin dışarıda bırakılması gerektiğini tanımlar. FMEA analizine başlamadan önce doğru sınırların belirlenmesi, FMEA analizinin yapılmayacağı alanlara girilmesini engelleyecektir. Kapsam doğru belirlenmediğinde;

- Analizin süresi uzar,
- Hedef analize odaklanılmaz,
- Ekip üyeleri yanlış belirlenir.

Ekibin çalışmaya başlaması motivasyonun yaratılması ve çalışma hızının sağlanması için, yönetimin baştan itibaren desteği şarttır. Destek, faal ve gözle görülebilir olmalıdır; örneğin üst düzey yöneticiler öncelikli sistemler ve bileşenler için FMEA' ları gözden geçirebilir. (Duman, 2001)

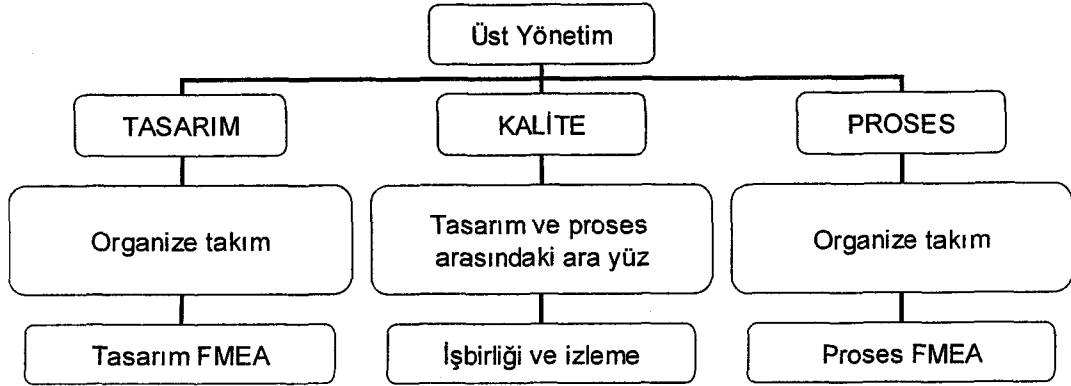
6.3 Karar Alma Süreci ve Hazırlık Çalışmaları

FMEA' nin son kullanıcıya ve dolayısıyla şirketlere olan faydası dikkate alındığında, bu çalışmanın bir ekip işi olduğu unutulmamalıdır. Tekniğin uygulanması proje ve sınırların seçimine bağlı olarak belirli bir zaman aldığına ve sonuçta bir sorumluluk, emek ve faydasına oranla düşük de olsa bir maliyet getirdiğine dikkat etmeliyiz. (Keser, 1998) Yanı sıra, şirketlerin rekabet edebilmeleri için de, piyasa ve teknolojik değişiklikler sonucu ortaya çıkan, çeşitli operasyonlardaki hatalarını önleme veya riskleri azaltma mecburiyetindedirler. (Akın, 1998) Bütün bunlar göz önüne alındığında FMEA çalışmasının başlatılması kararı, ürün gerçekleştirme sürecine katkıda bulunanların herhangi birinin girişimi veya talebi ile başlatılabilir olmasına rağmen, FMEA çalışmasının uygulanacağı birimin sorumlusunun onayı alınmak zorundadır.

Onay alınmadan herhangi bir FMEA çalışmasına girilmemeli ve çalışmanın başarılı olması için doğrudan üst yönetim desteği alınmalı ve üst yönetim bu çalışmaları yakından denetlemelidir. Şayet üst yönetimin çok ciddi kararlılığı olmaz ise beklenen sonuçlar görülemeyebilir. (Keser, 1998) Şekil 6.1' de FMEA yönetimi açıklanmaya çalışılmıştır.

Üst yönetimin başlangıçta çalışmaları yönetecek takım liderini seçmesi gerekmektedir.

Takım liderinin uygulanan FMEA çeşidine göre konusunda deneyimli ve ilgili departmanlardan seçilmesi tavsiye edilir. Tasarım FMEA için tasarıma hakim veya kalite çalışanlarından takım lideri belirlenmelidir.



Şekil 6.1: FMEA Yönetimi (Kara-Zaitri, 1996)

Kısaca, sistem analizi esasına dayanan FMEA yöntemi (teknîği) uygulamasına başlamadan önce, analiz edilecek ürün veya sistem belirlenmeli ve uygulamanın nedenleri tanımlanmalıdır. Sonra sırasıyla, yöntemin uygulanmasını isteyen kişi(ler), analizi yapacak kişiler ve karar verecek kişi, çalışma sınırları ve ulaşılmak istenen rakamsal hedef başlangıçta açıkça tanımlanmalıdır. (Boran, 1996)

6.4 FMEA Takımını Oluşturma

FMEA bir takım çalışması olup ferdi olarak yapılamaz. Spesifik bir proje için oluşturulan ekip, şirketin FMEA Takımı gibi hizmet edemez. Her problemin kendine ayrı özellik taşımasına ve dolayısı ile FMEA Takımı kurulurken takımın, çapraz ve çok fonksiyonel ve çok disiplinli olmasına özen gösterilmelidir. (Keser, 1998)

Bir diğer özellik olarak işletmelerin tedarikçilerinden bir ilgili kişinin ve müşterilerin de gruba katılabileceği yukarıdaki özelliklere eklenebilir. Özellikle Tasarım FMEA uygulamasında, teknolojinin satın alındığı durumda satan işletmenin bu konuda bilgili bir elemanının grupta yer alması çok olumlu sonuçlar verecektir. (Boran, 1996)

Başarılı takım aşağıda sıralanmış özelliklere sahiptir; (Cayman, 2002)

- Hedefe doğru direkt yönelme ve odaklanma,
- Kendi kimliklerini belirleme,

- Kullanılabilir ve ölçülebilir hedeflere sahip olma,
- Mükemmel sonuç için işbirliği yapma,
- Organizasyon yapısına sağlamlık getirme,
- Çapraz fonksiyona sahip olma,
- Kendilerine özgü yönetilme biçimleri ve takım kuralları yaratabilme,
- “Önce gelişim” her bir takım bireyinin bu amaçla yaşaması,
- Karşılaştıkları değişik kural ve pozisyonlara modifiye olma esnekliğine sahip olma.

FMEA Takımları oluşurken tek bir departmandan katılan personellerden kurulmamalıdır ve yanı sıra çalışılan konu ile ilgisi bulunmayan personelde davet edilmemelidir. Grup çalışması kurallarına riayet edilmeli ve katılımcı sayısı çok fazla olmamalıdır. **(Akın, 1998)** Çalışmada alınan kararlara onay veren (kabul eden) kişi sorunun ilgili olduğu bölüm şefi, işletme müdürü olabilir. Karar verici olarak tanımlanan bir kişi uygulanacak düzeltici önlemlerin sorumlularını ve uygulama sürelerini de belirlemesi istenen, karar verme yetkisine sahip, hiyerarşi olarak üst düzeyde biri olmalıdır. **(Boran, 1996)**

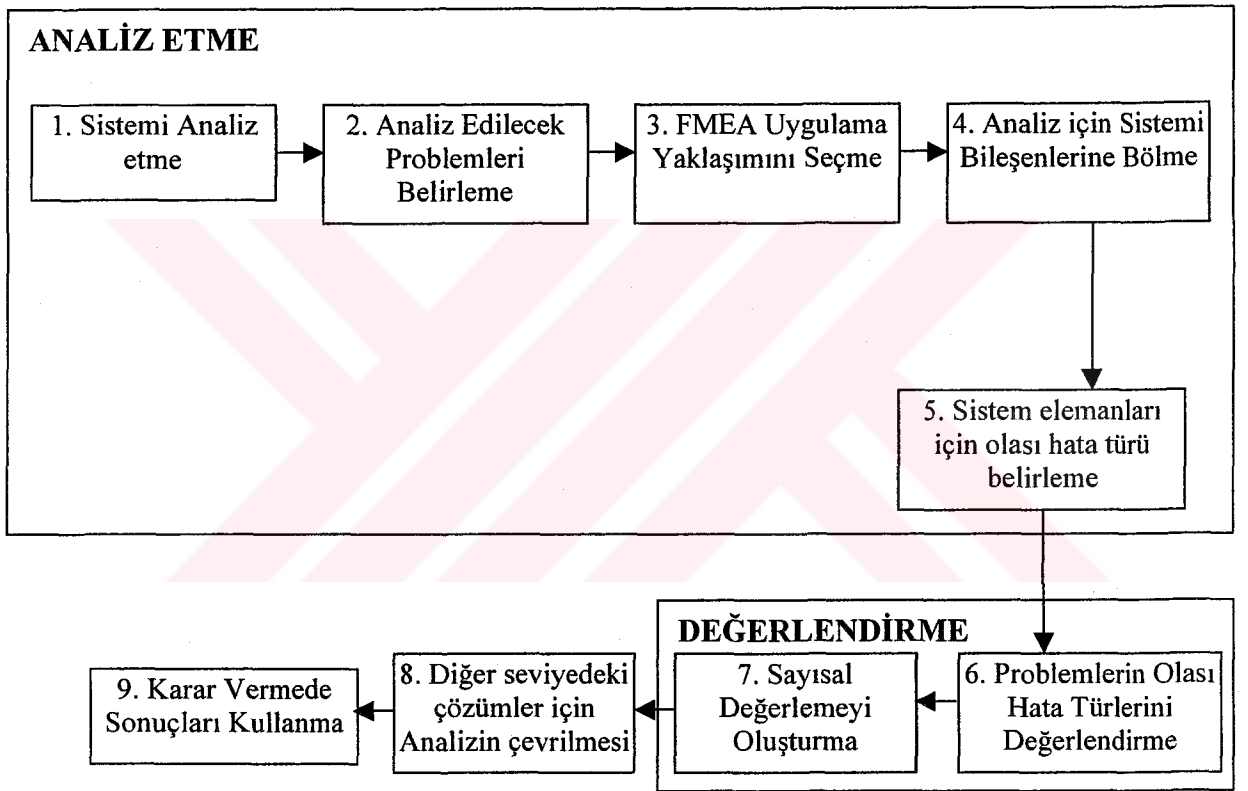
Tasarım ve Proses FMEA Takım üyeleri aşağıda sıralanmıştır; **(Keser, 1998)**

- Ürün / Hizmet Tasarımcısı, Ürün veya hizmet ile ilgili malzemelerin seçiminde karar veren, ürünün veya hizmetin bileşenlerini ve karakteristik özelliklerini tanımlayan takım üyesidir,
- Üretim Mühendisi veya Hizmet Operasyon Çalışanı, Proses hakkında uzman olup ürün veya hizmetin nasıl oluşturulacağına ve prosesin ne şekilde gerçekleştirileceği konusunda karar verebilen takım üyesidir,
- Kalite Yöneticisi, Ölçü aletleri, kontrol ve laboratuvar tekniklerinin yanı sıra organizasyonel beceriler konusunda deneyim sahibi ve ürün veya hizmet güvenilirliği ile kalite yönetim sistemi hakkında bilgi sahibi takım üyesidir,
- Pazarlama ve Satış Uzmanları, Ürün veya hizmetin kullanılabileceği yerler ve kullanma koşulları hakkında deneyime sahip olup benzer ürün ve müşteri talepleri/şikayetleri konusunda yeterli veriye sahip takım üyesidir,
- Satınalma Yetkilisi (Yan sanayi ve partner temsilcisi), yan sanayi veya hizmet desteği alınan ürün veya hizmet varsa bu konularda teknik bilgiye sahip takım üyesidir veya yan sanayi veya hizmet desteği alınan firmanın üyesi de olabilir,

- Olası Diğer Takım Üyeleri, servis yetkilisi, bakım uzmanı, planlama uzmanı, bilgi işlem uzmanı ve gereksinim duyulan uzman takım üyeleri.

6.5 FMEA Uygulama Süreci

Son kullanıcı olan müşterilere etki eden olası hata türlerini, ürün gerçekleştirme veya hizmet sunmaya yönelik çalışmalar içerisinde belirleyen ve risklerini değerlendiren sistematik yaklaşım FMEA uygulama süreci Şekil 6.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.2: FMEA Uygulama Süreci (RBDM, 2000)

6.5.1 Analiz Etme

6.5.1.1 Sistemin Analiz Edilmesi ve Uygulanacak Yaklaşımın Seçimi

1. Sistemi analiz etme aşağıdaki maddeleri içerir; (RBDM, 2000)

- Tasarlanmış (Düşünülen) Fonksiyonlar,
- Çalışma Sınırları.

FMEA tekniği, ürün veya sistemler hakkında ayrıntılı bilgiler ister. Sistemi tanımaya yönelik bu çalışmalar da ürün veya hizmet sistemlerinin ancak ayrıntılı analiz edilmeleri ile sağlanır (Sistem FMEA). Bu aşamada, ürün veya sistemin fonksiyonları, çalışma şekli ve üretim şekli belirlenir. Fonksiyonlar, ürün veya sistemlerin ne işe yaradıkları ya da var olma sebepleri ile tanımlanır. Kolaylık sağlamak amacıyla, bilgilerin gösteriminde diyagramlardan da yararlanılabilir. (Boran,1996)

Bir FMEA tekniğinin sistemi analizi sırasında bütün sistem geliştirme tekniklerinden ve bunlardan elde edilen bilgilerden yararlanılır. Aynı zamanda, FMEA ' dan elde edilen bilgiler bu tekniklerde kullanılabildiğinden bütünleşik FMEA sağlanmış olur. Test ve değerlendirme, kalite güvencesi, bütünleşik lojistik destek. sistem emniyeti, tasarım ve gelişme alanlarında yapılan çalışmaların her biri FMEA için önemli girdi kaynakları olacaktır. (Stamatis,1995)

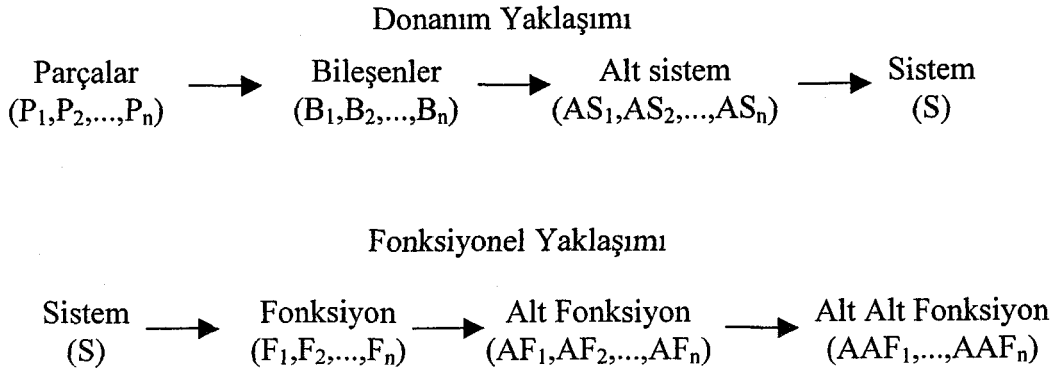
Analiz edilecek problemleri belirleme aşağıdaki maddeleri içerir; (RBDM,2000)

- Güvenlik Problemleri,
- Çevresel Olaylar,
- Ekonomik Etkiler.

FMEA uygulama yaklaşımını seçme aşağıdaki maddeleri içerir; (RBDM,2000)

- Donanım Yaklaşımı (aşağıdan yukarıya),
- Fonksiyonel Yaklaşım (yukarıdan aşağıya),
- İkisinin Birleşimi (melez yapı).

Bu yaklaşımlar şematik olarak Şekil 6.3' te gösterilmiştir.



Şekil 6.3 Yaklaşımların Şematik Gösterimi (RBDM, 2000)

6.5.1.2 Fonksiyonların Belirlenmesi

Fonksiyonlar, tasarımın amacı ve/veya mühendislik gerekleridir. Bir ürün içerisindeki parçalar tarafından, teker teker veya grup olarak yerine getirilen herhangi bir eylemdir. Bir ürün veya prosesin çalışması ve müşteri beklentilerini karşılaması için yapması gerekenlerdir. (Duman, 2001) Bir ürün normal olarak birden fazla fonksiyona sahiptir. Fakat bu fonksiyonları ana fonksiyonlar ve yardımcı fonksiyonlar olarak ikiye ayırmak gerekir. (Keser, 1998)

Ana Fonksiyon: Bir ürünün var olmasının esas nedenlerini ortaya koyan gerçeklerdir. Ürünün kullanım anında verdiği hizmet olarak tarif edilebilir. Normal olarak bir ürün, kullanım anında yani “ondan faydalandığı süre” içinde görevlerini yerine getirir. Kullanılmadığı zamanlarda ise sadece yer kaplar. (TEMSA, 1998)

Fonksiyonların tanımında ürünün bakımı, onarımı, montajı, sökülmesi söz konusu edilmez. Sadece kullanım anında verdiği hizmetler o ürünün fonksiyonlarıdır. Bir ürünün bir çok kullanım şekli olduğunda durumlarda da birden fazla fonksiyonu mevcut olabilir. Örneğin; bir elektrik devresinin kapalı olduğu andaki fonksiyonu, elektrik akımının geçmemesini sağlamak, açık olduğu andaki fonksiyonu ise elektrik akımının geçmesini sağlamaktır. (TEMSA, 1998)

Bir ürünün fonksiyonlarının tanımı, parçanın veya alt grubun tanımı ile aynı değildir. Bir ürünün alt gruplarının her biri ayrı fonksiyonları yerine getirirken, birleştiklerinde ana fonksiyonları yerine getirirler. (TEMSA, 1998)

Yardımcı Fonksiyon: Bu ürünün varlığı nedeniyle sağlayacağı diğer fonksiyonlardır. Önemsiz diye düşünülmemeli, aksine ürünün bu fonksiyonları da sağlamasının zorunlu olduğu unutulmamalıdır. (Keser, 1998) Bu fonksiyonlar ürünü geliştiren ve değerini artıran fonksiyonlardır. Teknik ve fonksiyonel gereklerden çıkarılabilir. Örneğin; hedef performans, çekicilik, vs. (Duman, 2001)

Fonksiyonların belirlenmesinde şu özellikler tasarımcı ve FMEA takımınca göz önünde bulundurulmalıdır: (Keser, 1998)

- Yönetmelikler
- Düzenlemeler
- Normlar
- Fiziksel Özellikler
- Ortam vs.

Fonksiyon tanımı “Bu parçanın ne yapması gerekir” sorusunun cevabı olmalıdır.

Fonksiyonlar:

- İsim/fiil/ölçülebilir formda yazılmalıdır.
- Ölçülebilirler, ilgili tüm sistem Tasarım Şartnamelerini içerirler:
 - o Doğrulanabilirler, onaylanabilirler.
 - o İlave sınırlamaları veya tasarım parametrelerini içerirler; güvenlik şartları servis edilebilirlik spekleri, özel durumlar, ağırlık, boyut gibi.
 - o Geçerli standartları ve gerekleri içerirler.
- Tasarım amacı ya da mühendislik gerekleridir.
- Tüm müşteriler veya sistemler için, konuşulmuş veya konuşulmamış tüm istek, ihtiyaç ve gereksinimlerin temsilcileridir.

Tablo 6.1 çeşitli fonksiyon örnekleri verilmiştir.

Tablo 6.1: Fonksiyon Örnekleri (Duman, 2001)

Ölçülebilir	İsim	Fiil
Eylemin ölçüsü ile ilişkisini gösterir.	Eylemin ne ile ilişkili olduğunu gösterir.	Eylemi, oluşu, varoluşu gösterir.
X amp	Akım	İletir
X cm ³ /sn	Akışı	Kontrol eder
X litre	Yakıtı	Sızıntısız depolar
X kg-f	Kuvvete	Dayanır

Genellikle ürün fonksiyonları belirlenirken müşteri istek ve ihtiyaçlarını net olarak anlamak için öncelikle Kalite Fonksiyonu Açılımı (QFD) tekniği kullanılır. (Stamatis, 1995)

Fonksiyonların belirlenmesinde kullanılan diğer bir teknik de fonksiyon ağacı analizidir. Bu analiz bir ürün veya prosesin, henüz konuşulmamış fakat beklenen, müşteri gereksinimlerinin karşılandığının garanti edilmesine yardımcı olur. Fonksiyon Ağacı, fonksiyonel detayların artan seviyelerine karşılık gelen hiyerarşik bir temel üzerine oluşturulur. Genellikle diyagram soldan sağa doğru gelişir ve geliştikçe detay seviyesi artar ve eyleme geçilebilir bir düzeye ulaşıncaya sona erer. (Duman,2001) Herhangi bir fonksiyon, çok genel veya çok ayrıntılı, bir önceki fonksiyonu nasıl yerine getirilebileceğini tanımlamak için mevcuttur. Fonksiyon ağacında belirtilen bir fonksiyonun nasıl yerine getirileceğini tanımlayan fonksiyon, onun sağında yer alır.

Bir fonksiyon ağacı aşağıdaki adımlar izlenerek geliştirilebilir: (Duman, 2001)

- Fonksiyon tanımlamak için bir isim-fiil-ölçülebilir bileşimi kullanarak bir ürün veya prosesin tüm fonksiyonları (ana ve yardımcı) beyin fırtınası ile belirlenir.
- Birinci düzey fonksiyonlar belirlenir ve en sola yazılır.
- Her bir birinci düzey fonksiyon için; “Bu fonksiyona nasıl ulaşılır?” sorusu sorulur. Bu sorunun cevapları, birinci düzey fonksiyonun sağına yazılır.
- Ölçülebilir bir fonksiyon düzeyine ulaşıncaya kadar üçüncü adım tekrarlanır.

- Her bir eyleme geçilebilir düzeydeki fonksiyonun ölçülebilir olduğundan emin olunmalıdır. Ölçülebilir düzeye ulaşılan kadar fonksiyonun alt seviyelerine inilir.
- Fonksiyon ağacının ölçülebilir düzeyinden itibaren doğrulanması için, sağdan sola doğru, “Bu fonksiyon niçin var?” sorusu sorulur. Sağdaki fonksiyon için sorulan bu sorunun cevabı, onun hemen solundaki fonksiyon olmalıdır.

Kritik Karakteristikler: Kritik karakteristikler genellikle tasarım FMEA ile birleştirilir çünkü donanımlar tasarım aşamasında ortaya çıkar. Donanımlar ortaya çıkana kadar kritik karakteristikler tanımlanamaz. Kritik karakteristik tanımlaması proste, montajda ya da servis FMEA’ da özel kontroller yapılmasını belirtir. Buradan kritik karakteristikler kontrol planlarına aktarılır. (Stamatis, 1995)

Kritik karakteristikler aşağıdakiler olduğu zaman tanımlanır: (Stamatis, 1995)

- Proses ihtiyaçları güvenliği etkileyebilir.
- Proses ihtiyaçları yasal düzenlemelere uyumu etkileyebilir.
- Proses ihtiyaçları özel operasyon ya da kontroller için gereklidir.

Hata türünün şiddet derecesi 9 veya 10 ise, orda bir kritik özellik vardı. Bir kritik özellik tespit edildiğinde Proses FMEA başlatılır. (Duman, 2001)

6.5.1.3 Olası Hatalar

Sistem bileşenlerine ayrıldıktan sonra olası hata türlerinin tanımlanmalıdır. Hata türü, hatanın gözlenen tarzı (türü)dır. Hatanın oluşma şekli bir fonksiyona bağlı olduğunda, hata türü, bir sistemin fonksiyonlarını yerine getirememesi durumu veya anormal işleyişidir. Daha genel olarak, hata türü yerine getirilememiş bir fonksiyon ve fonksiyonun yerine getirilememesi şeklindedir. (Boran, 1996) Bir ürün veya hizmet için, hangi durumda olursa olsun, tasarım veya proses yararlarını, performans gereksinimlerini ile müşteri ihtiyaçlarını sağlayamama hususu hata türü olarak tanımlanır. (Özay, 1999)

Hata türü, fiziksel özellikler ile tanımlanır. Olası hata türünü belirlerken, hatanın ortaya çıkabileceği fakat oluşmasının gerekmeyeceği kabulü yapılır. Olası hata türü, genellikle hatanın oluşma türü ve sistemin çalışmasındaki etkisinin tanımını içerir. (Boran, 1996)

Hata türlerini belirlerken aşağıdaki sorulara cevap aranmalıdır; (Stamatis, 1995)

- Tasarımla veya prosesle ilgili olası sorun nedir?
- Parçanın spesifikasyonları karşılayamadığı durumlar nelerdir?
- Öngörülen mühendislik özelliklerini hiç göz önüne almadan, müşterini itiraz edebileceği düşünülen herhangi bir unsur var mıdır?
- Bir sonraki veya daha sonraki operatör neyi kötü olarak değerlendirecektir?
- Son kullanıcı (müşteri) neyi kabul edilmez olarak tanımlayacaktır?

Analizcilerin olası hata türlerini belirlemede yararlanacakları bir yaklaşım, ürün veya sistemin performans, bütünlük, istenildiği zaman kullanıma hazır olma, güvenilirlik, dayanıklılık, faydalı ömür, estetik gibi özelliklerin birkaçına veya hepsine sahip olma durumu önceden belirlendiğinde bunun gerçekleşip gerçekleşmediğini belirlemek olabilir. Olması istenen ancak gerçekleşmeyen özellik hatayı gösterecektir. **(Boran,1996)**

Hata türlerini, etkilerini ve sebeplerini belirlemek için aşağıdaki verilerden yararlanılabilir. **(Stamatis, 1995)**

- Müşteri şikayet raporları,
- Test raporları,
- Garanti verileri,
- Güvenilirlik analizi sonuçları,
- Benzer ürün ve sistem bilgileri.
- Benzer ürünler için daha önceden yapılmış FMEA çalışmaları sonuçları,
- Simülasyon çalışmaları sonuçları.

Ortaya çıkabilecek olası hata türleri fonksiyonellikle ve donanım ile ilgili olmak üzere iki şekilde belirlenebilir. Donanım ile ilgili hata türüne örnek olarak şunlar verilebilir; **Breining ve Kunz (2002)**

- Kırılma - Renk Uyumsuzluğu
- Deforme Olma - Aşınma
- Korozyona Uğrama - Delinme
- Gürültü - Titreme

Hata türlerini belirlerken, hata sebeplerinin listelenmesini takip eden düzeltici faaliyetleri muhakkak gerçekleştirmek gerekmektedir. Tecrübeler ile daha da ileriye doğru gitmek ve oluşma ihtimali az olan hataların oluşması sağlanabilir. Hata sebeplerinin doğruluğunu araştırma, sansür etme ve anında çözüm arama işlemleri yapılmayıp, hata türüne yol açabilecek bütün cisim ve temaslar ile ilgilenilmelidir. (Keser, 1998)

6.5.1.4 Olası Hata Etkileri

Hata etkisi, hata türüyle bağlantılıdır. Etki, her bir hata şekliyle neden olunan, sistemin fonksiyonelliğindeki değişikliği gösterir. Olası hata etkisi, hatanın ortaya çıktığı kabul edildiğinde, müşterinin neyin farkında olacağı ile ilgilidir. Kısaca, hata ile karşılaşan müşterinin tepkisini, yani olası hatayla karşılaştığında oluşan sonuçları tanımlar. Buradaki müşteri bir sonraki bölüm yada işlem yapacak kişi veya son kullanıcı olabilir. Uygulamada genellikle müşterinin son kullanıcı olarak seçildiği görülmektedir. Bunun nedeni de ürünün satın alınma miktarının, kullanıcısının memnuniyet derecesi ile ilgili olmasıdır. Bunun yanında parçanın bulunduğu grup, sistem, ürün, ara müşteri, yan sanayi, yasalara uygunluk, kullanıcı emniyeti üzerindeki sonuçlar yani etkiler de belirlenebilir. (Boran, 1996) Sonuç olarak, bir hatanın etkisi, hata türünün, parçanın bulunduğu grup, müşteri, sistem ve yasalar üzerinde yarattığı sonuçtur. (Özay, 1999)

FMEA çalışmalarında, bir hata türünün bir etkisi olduğu varsayılırdı, oysaki bir hata türünün birden fazla etkisi olabildiği bileşke durumlarda mevcuttur. (Şekil 6.4) (Kara-Zaitri,1996).

Olası hata etkisi örnekleri aşağıda sıralanmıştır; Breiing ve Kunz (2002)

- Gürültü - Yanlış işlem
- Arızalanmaya yatkınlık - Kesintili işlem
- Tekrar kullanılamama - Tamir edilemeyen işlem
- Kazaya yatkınlık - Müşteri memnuniyetsizliği
- Aşırı çaba isteme - Kötü görünüş
- İmaj kaybı - Uyumsuzluk
- Yaralanma veya ölüm

6.5.1.5 Olası Hata Nedenleri

Olası hata türünün oluşmasında etkili olacak unsurlar, neden olarak tanımlanır. Hatanın nedeni, hatanın türünü oluşturabilecek ilk anormalliktir. Hata nedenleri tasarım esnasında sorunların oluşma gerekçelerini gösterir. Hata nedenlerini ortaya çıkarmak için, “Olası hata türünde sonuçlanabilir işlem değişkenleri nedenleri nelerdir?” sorusuna yanıt aranır. (Boran,1996)

Hata nedenlerinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntem neden-sonuç (balık kılıcı) diyagramıdır. 3M + 1İ (makina, malzeme, metot ve insan, bazen ölçme ve çevre de katılabilir) olarak tanımlanan hata kaynaklarına göre nedenler beyin fırtınası yoluyla belirlenir. Burada grup üyelerinin deneyimlerinden yararlanma söz konusudur. (Atay,2002)

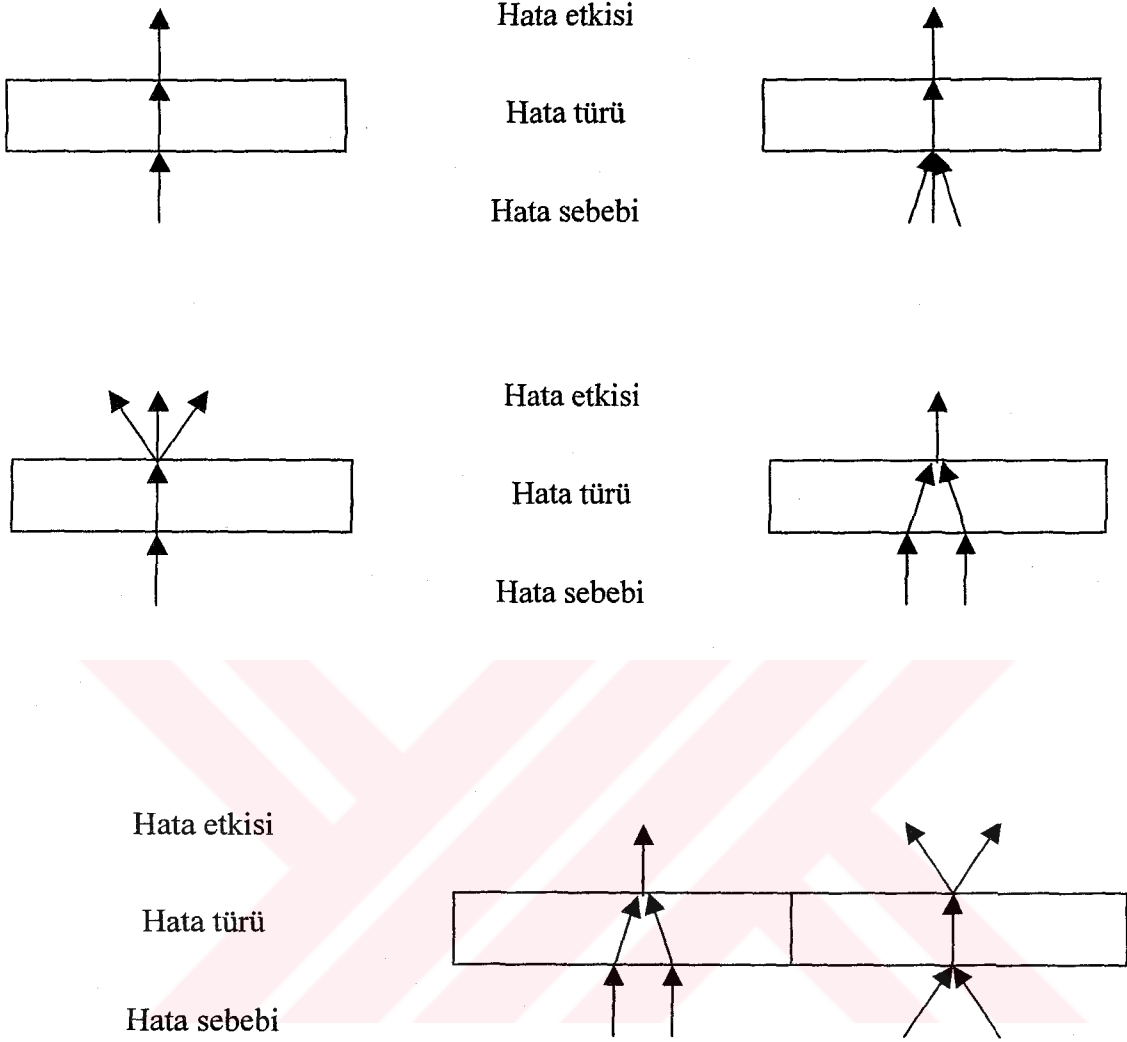
Hata nedenlerine örnek olarak şunlar verilebilir; Breiing ve Kunz (2002)

- Aşırı yüklenme - Uygun olmayan tasarım ömür kabulü
- Aşırı zorlanma - Uygun olmayan bakım talimatları
- Dengesizlik - Yanlış tanımlanmış malzeme kalınlıkları
- Kötü çevre koşulları - İş gücünün eğitim yetersizliği
- Yanlış tanımlanmış malzeme - Makina ayarlama hatası

Hata türü, hata etkisi ve hata nedenleri birbirleriyle olan ilişkilerin belirlenmesi bir çok teknik yardımıyla sağlanmasına rağmen, müşteriye etki edebilme ihtimali olan bir hata türünün nedenini araştırırken bir çok verinin bir araya gelmesi beklenmemeli, sistem bir an önce analiz edilmelidir. Şekil 6.4’ de Hata nedeni—Hata türü—Hata etkisi aralarındaki ilişkiler gösterilmektedir. (Kara-Zaitri,1996)

6.5.2 Değerlendirme

Değerlendirme aşamasının olası hataların kritikliklerine göre sıralama işlemi yapıldığı kritikliği belirleyen ölçüt, kritiklik sayısı veya onun eşdeğeri olan “Risk Öncelik Sayısı-(ROS)” dır. ROS, risk faktörlerinin olasılık değerleri kullanılarak hesaplanır. Ancak uygulamada işlem kolaylığı sağlamak amacıyla risk durumu, olasılıksal bir değer yerine sayısal büyüklük olarak ifade edilir.



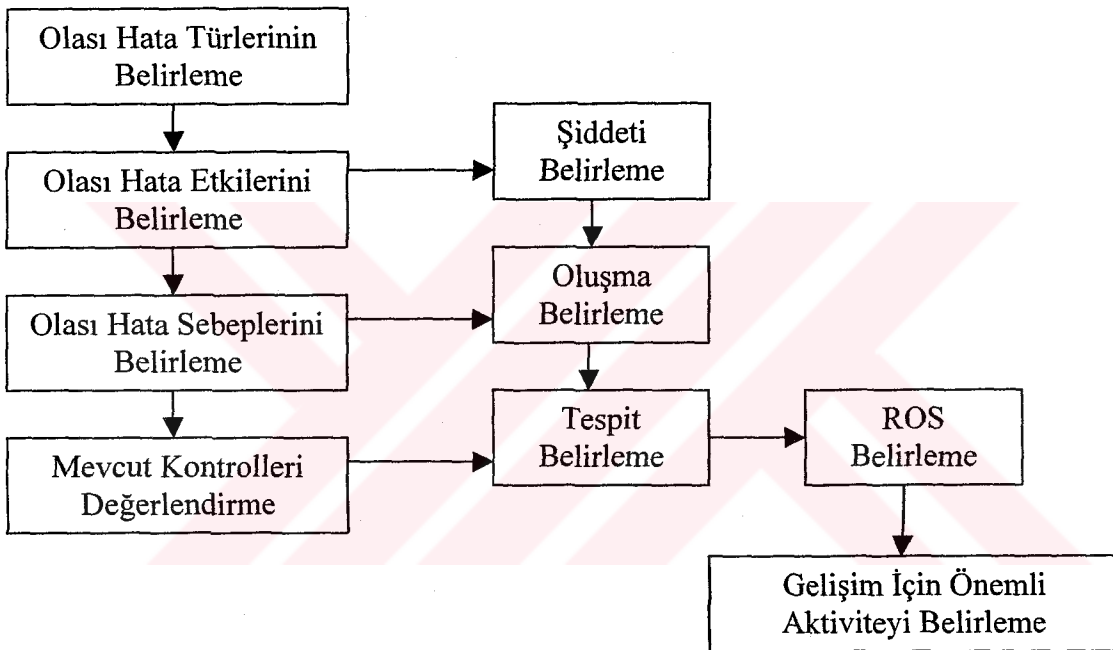
Şekil 6.4: Hata Nedeni—Hata Türü—Hata Etkileri İlişkileri (Kara-Zaitri, 1996)

Risk öncelik sayısı adı verilen bu sayı, hata oluşma ve tespit edilebilirlik risk faktörlerinin olasılık ile ve ağırlık risk faktörünün sözel olarak tanımlanan değerlerine belirli aralıkta yer alan sayılar atanıp matematiksel işlem uygulanması sonucu bulunur. Risk öncelik sayısının bir değeri veya anlamı yoktur, sadece hataların kritiklik yönünden göreceli olarak karşılaştırılmasını ve sıralanmasını sağlar. (Atay, 2002)

Şekil 6.5’ de FMEA uygulama sürecindeki analiz etme ve değerlendirme basamakları arasındaki ilişki gösterilmektedir. (Hammett, 1999)

Önceliğin belirlenmesi metodun en önemli noktası olup, bunu sağlayan üç kriter şunlardır; (Akın, 1998)

- Oluşma, oluşma ve hatanın frekansıdır,
- Şiddet, hatanın ciddiyeti, ağırlığı ve etki gücüdür,
- Tespit Edilebilirlik, müşteriye ulaşmadan önce fark edilebilirliktir.



Şekil 6.5: FMEA Uygulama Sürecindeki Analiz Etme ve Değerlendirme Basamakları Arasındaki İlişki (Hammett, 1999)

6.5.2.1 Oluşma (O)

Hatanın oluşma sıklığını gösterir ve her bir olası hata türünün gerçekleşmesi olasılığı ile ilgilidir. Oluşma olasılık değerini belirlemek için iki farklı yaklaşım vardır. Birincisi, bir hata türü veya nedeni için oluşma olasılık değerini belirlemektedir. Diğerinde ise olasılık

değeri hata nedeni ile onun sonucunda çıkan hata türü ilişkilendirilmesi ile bulunur. Neden oluşursa, hata türünün de oluşacağı alınır. (Boran, 1996)

Bir diğer yöntemde FMEA Takımınca olasılıkların tahmin edilmesidir. Bu tahminler sırasında, hatanın ve sebebin ürün müşteriye ulaşmadan çıkmamış olacağı kabul edilir. Derecelendirme 1 ile 10 arasında yapılmaktadır. (Usuğ, 2002)

Oluşma ürünün faydalı ömrü boyunca belirlenen sebeplerle belirlenen hataların oluşmasının sıklığı ya da kümülatif toplamıdır. Her 100 ya da 1000 parça için Kümülatif Hataların Toplamları (CNF) güvenilirlik analizleri kullanarak hesaplanır. (Stamatis, 1995) CNF' ler belirtilen sebeple meydana gelebilecek olan tasarım hatalarının her 100 ya da 1000 parçanın kaçından meydana gelebileceğini gösteren olasılıklardır. Oluşma puanlandırması ve CNF' ler Tablo 6.2' de anlatılmıştır.

Tablo 6.2: Oluşma Puanlandırma Rehberi (Stamatis, 1995)

Oluşma	Oluşma Değeri	Kriter	CNF/1000
Nerdeyse imkansız	1	Geçmiş herhangi bir hata göstermiyor.	<.00058
Uzak	2	Seyrek hata sayısı	.0068
Çok az	3	Çok az hata sayısı	.0063
Az	4	Az hata sayısı	.46
Düşük	5	Ara sıra hata oluşur.	2.7
Orta	6	Orta hata sayısı	12.4
Kısmen yüksek	7	Kısmen yüksek hata sayısı	46
Yüksek	8	Yüksek hata sayısı	134
Çok yüksek	9	Çok yüksek hata sayısı	316
Nerdeyse kesin	10	Geçmiş benzer tasarım hatalarından çok sayıda gösteriyor.	>316

6.5.2.2 Şiddet (S)

Şiddet ile müşteriye yansıyan olası hata sonuçlarının düzeyi değerlendirilir. Hata şiddeti etkiye karşılık gelir ve aralarında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Hatanın etki düzeyi arttıkça ağırlık da artar. (Boran, 1996) Hata şiddeti, hatanın müşteri üzerinde etkisinin önem derecesidir. (Akin, 1998) Tablo 6.3' te hatanın etkisinin şiddetini puanlandırmak için bir rehber verilmiştir.

Tablo 6.3: Şiddet Puanlandırma Rehberi (Stamatis, 1995)

Etki	Şiddet Değeri	Kriter
Yok	1	Etki yok
Çok az	2	Müşteri kızgın değil. Ürün performansı üzerine çok az etki var. Hayati olmayan hata bazen fark edilir.
Az	3	Müşteri az kızgın. Ürün performansı üzerine az etki var. Hayati olmayan hata sıklıkla fark edilir.
Minör	4	Müşteri minör sıkıntıda. Ürün performansı üzerine minör etki var. Hata onarım gerektirmez. Hayati olmayan hata sürekli fark edilir.
Orta	5	Müşteri bazen memnun değil. Ürün performansı üzerine orta düzeyde etki var. Hayati olmayan hata onarım gerektirir.
Belirgin	6	Müşteri rahatsız. Ürün performansı küçük düşürücü fakat güvenli çalışıyor. Hayati önemi olmayan parçalar çalışmıyor .
Majör	7	Müşteri memnun değil. Ürün performansı ciddi düzeyde etkilenmiş fakat güvenli ve işlevsel. Alt sistem çalışmıyor.
Aşırı	8	Müşteri hiç memnun değil. Ürün çalışmıyor fakat güvenli. Sistem çalışmıyor.
Ciddi	9	Potansiyel tehlikeli etki. Aksilik olmadan ürünü durdurmak mümkün. Zamandan bağımsız hata. Yasal düzenlemelere uygunluk tehlikede.
Tehlikeli	10	Tehlikeli etki. Güvenlikle ilgili ani hatalar. Yasal düzenlemelerle uyum yok .

6.5.2.3 Tespit (T)

Olası hatanın, son müşterinin kullanımı esnasında ortaya çıkacağı varsayıldığından, öngörülen tespit önlemlerinden geçmiş olması gerekir. Bu nedenle, tespit ile ilgili olasılık değeri, ortaya çıktığı varsayılan hata nedeninin ya da şeklinin müşteriye ulaşabilme olasılığı olarak tanımlanır. Bazı işletmelerin bu olasılık değerini, hatanın müşteriye ulaşmama olasılığı olarak aldığı görülmektedir. Olasılık değerleri, analiz edilen birimlerin benzerlerinin geçmiş dönem verilerinden, ürün iç denetlemelerinden bulunabilir. Olasılık durumu kestirilemediği durumlarda ona bir değer verebilmek için grup üyelerinin deneyimlerine başvurulur. (Boran, 1996)

Derecelendirme (puanlama),hata oluştu düşüncesiyle hareket edilerek, mevcut kontrol olanaklarıyla hata türüne sahip parçanın sevkini önleme olanağına göre belirlenir. Sonuç olarak, ürün veya hizmetin son kullanıcıya ulaşmadan oluşum sürecinde tespit edilebilme olanağı puanlama sistemine yansıtılmıştır. (Akin, 1998)

Tablo 6.4' tespit puanlarının değerlendirilmesi için bir rehber verilmiştir.

Tablo 6.4: Tespit Puanlandırma Rehberi (Stamatis, 1995)

Tespit	Tespit Değeri	Kriter
Nerdeyse Kesin	1	Uygulanabilen her kategoride en yüksek etkinliğe sahip
Çok yüksek	2	Çok yüksek etkinliğe sahip
Yüksek	3	Yüksek etkinliğe sahip
Kısmen yüksek	4	Kısmen yüksek etkinliğe sahip
Orta	5	Orta düzeyde etkinliğe sahip
Düşük	6	Düşük düzeyde etkinliğe sahip
Az	7	Az etkinliğe sahip
Çok az	8	Her kategoride en az düzeyde etkinliğe sahip
Uzak	9	Kanıtlanmamış, güvenilirmez ya da etkinlik bilinmiyor
Nerdeyse imkansız	10	Hiç bir tasarım tekniği bilinmiyor ya da uygulanmıyor ya da hiçbiri planlanmamış.

6.5.2.4 Risk Öncelik Sayısı (ROS)

Risk Öncelik Sayısı (ROS), kritiklik sayısı göstergesidir. ROS her bir hata türü veya nedeni için “şiddet”, “oluşma” ve “tespit” gibi üç risk faktörü esas alınarak belirlenen sayısal değerdir. ROS değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılıksal olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında atanan değerleri alınır. ROS ile her bir hata türü (nedeni) için riskler tanımlandığından en büyük ROS’ ye sahip olandan başlayarak uzun dönemde ortadan kaldırılması kısa dönemde en aza indirilmesi için alınacak düzeltici önlemler belirlenir. (Boran, 1996)

ROS değerlerin bulunmasında yer alan üç faktörün (Şiddet, Oluşma, Tespit) değerlerinin analizcilerin kişisel yargılarına göre belirlenmesi, risk düzeyine göre önceliklerin belirlenmesinde yeterlidir. Ancak değerlendirmelerin kişi yargıları esas alınarak yapıldığı raporda belirtilmelidir. Kişi deneyim ve yargılarına göre değer ataması yapıldığında aynı düzeyde değerlendirme yapabilmek için tüm değer atama işlemleri belirli bir zaman dilimi içinde tamamlanmalıdır. (Boran, 1996)

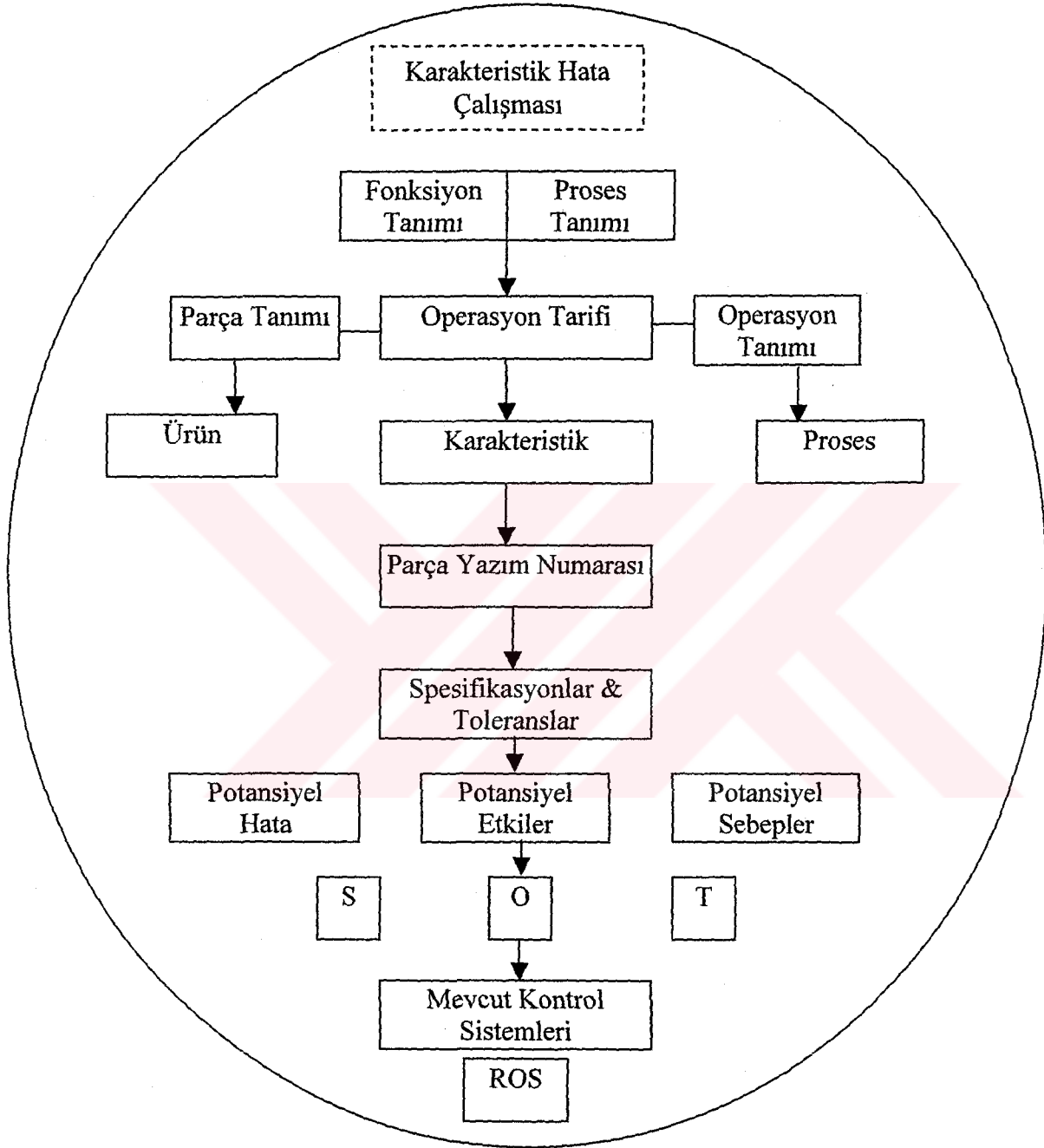
Risk Öncelik Sayısı (ROS), Oluşma (O), Şiddet (S) ve Tespit (T) değerlerine iki farklı matematiksel işlem uygulanması ile hesaplanır; (Usug, 2002)

- Çarpma işlemi ile $ROS = O \times S \times T$
- Toplama işlemi ile $ROS = O + S + T$

Ancak uygulamada yaygın olarak kullanılan yaklaşım risk faktörleri olan oluşma, şiddet ve tespit değerleri ile çarpma işlemi yardımıyla ROS’ yi hesaplamaktır. Şekil 6.6’ da ROS’ ün hesaplama süreci gösterilmektedir.

Bu katsayı, hataların önemini ve düzeltici önemlerin önceliğini belirlediğinden dolayı katsayının büyük hesaplandığında iyileştirme faaliyetleri bir an önce başlatılmalıdır.

Analizi yapılan ürün veya sistemin öngörülen kalitesi hakkında genel bir fikir edinmek için ROS’ lerden yararlanılır. Ayrıca gerçekleştirecek iyileştirme çalışmalarının izlenmesi de kolaylaşır. (Boran, 1996)



Şekil 6.6: ROS Hesaplaması (Werwega, 2002)

Küçük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılan risk esas alındığında, ROS'lerin bir niteliksel değerlendirilmesi şu şekilde yapılabilir. (Yılmaz, 1997)

- Riskin küçük olduğu durumda düzeltici faaliyete gerek yoktur,
- Risk büyüklüğü orta olduğu durumda, bazı düzeltici önlemlerin alınması gerekebilir,
- Riski yüksek olduğu durumda, düzeltici önlemler alınmalıdır,
- Riskin çok yüksek olduğu durumda, mutlaka düzeltici önlemler alınmalıdır. Gerekirse ürün veya sistem tasarımı, proses üzerinde değişiklikler yapılmalıdır.

ROS değerlerine göre düzeltici önlem alma kararları ise: (Usuş, 2002)

- $ROS < 40$ ise önlem almaya gerek yoktur,
- $40 < ROS < 100$ önlem alınmasında fayda vardır,
- $ROS > 100$ ise mutlaka önlem alınması gerekir.

Aşağıdaki örnekte bazı uç noktalar ele alınarak verilen kararlar gösterilmiştir; (Stamatis, 1995)

Tablo 6.5: Uç Noktalar (Stamatis,1995)

Oluşma	Şiddet	Tespit		
1	1	1	İdeal durum (hedef)	Faaliyet gereksiz
1	1	10	Durum hakimiyeti	Faaliyet gereksiz
1	10	1	Hatalar kullanıcıya ulaşmıyor	Faaliyet gereksiz
1	10	10	Hatalar müşteriye ulaşmıyor	Önlem alınmalı
10	1	1	Sık hatalar saptanıyor, maliyet yüksek	Önlem alınmalı
10	1	10	Sık hatalar müşteriye ulaşmıyor	Önlem alınmalı
10	10	1	Çok ağır ve sık hatalar, müşteriye ulaşmıyor	Önlem alınmalı
10	10	10	Çok büyük problem	Acil Önlem

Aynı ROS değerine sahip iki veya daha fazla hata varsa, öncelikle ağırlığı ve sonrada tespit değeri yüksek olan hata ele alınmalıdır. Ağırlığı yüksek olan hatalar önceliklidir çünkü bu değer hatanın etkisini göstermektedir. Tespit oluşma değerinden daha

önemlidir. Burada söz konusu olan hatanın müşteriye ulaşmasıdır. Müşteriye ulaşan hatalara, sık oluşan hatalardan daha öncelikli yaklaşılmalıdır. (Boran, 1996)

6.5.3 Sonuçların Değerlendirilmesi

Analiz ve değerlendirme sonuçları belirlendikten sonra bilgiler FMEA Formuna aktarılır.

Şekil 6.7' de FMEA Formu gösterilmiştir.

6.5.3.1 Düzeltici Önlemler

Düzeltici önlemler, olası hata şekillerini veya nedenlerini ortadan kaldırmak veya olumsuz etkilerini minimize edilmesi için tasarım, üretim süreci, malzeme veya üretim yönetimi gibi çeşitli unsurlarda yapılacak değişikliklerdir. Düzeltici önlemleri ile ROS değerleri aşağıya çekilmeye çalışılır. ROS değerlerinin küçültülmesi, ağırlık, tespit, oluşma gibi risk faktörlerine atanan değerlerin küçültülmesiyle gerçekleşir. (Boran, 1996)

Risk azaltmak için bütün kararların burada alınması gerekmektedir. Sistemin analiz kademelerine inilerek, FMEA analizi ile ilgili kavramların tamamı her birim için özelleştirilmelidir. (Keyserling, 2000) ROS değerini en küçükleme çalışmalarında, aşırı çabalar, aşırı maliyetler getireceğinden maliyet hedefi göz önünde bulundurulmalıdır.

Düzeltici faaliyet çalışmaları sonrasında ROS değerleri aynı kriterlere göre baştan hesaplanmalı ve minimuma çekilmeye çalışılmalıdır.

Tasarım FMEA risk değerlendirmesini etkileyen tipik örnek düzeltici faaliyet Tablo 6.6' da verilmiştir.

6.5.3.2 İzleme

FMEA tekniğinin bu adımı, öngörülen düzeltici önlemlerin, yeterli etkinlikte uygulanmaya alınıp alınmadıklarının doğrulanması ve yeni sonuçların incelenmesi ve değerlendirilmesi aşamasıdır. Düzeltici önlemlerin devreye alınması açısından büyük

önem taşır. Bu aşamada kritik ROS değerleri ortadan kaldırıncaya kadar çözümler incelenir ve değerlendirilir. (Usuğ, 2002)

Tablo 6.6: Tasarım FMEA Düzeltici Faaliyetleri (Stamatis, 1995)

Düzeltici Faaliyet	Oluşma	Şiddet	Tespit
Ürünün yeniden tasarımı	E	E	E
Mevcut kontrollerin geliştirilmesi	H	H	E
Ürün malzemelerinin değiştirilmesi	E	H	E
Uygulamayı değiştirme	E	E	E
Konu ile ilgili çevre koşullarını değiştirme	E	E	E
Güvenilirlik problemlerini geliştirme	E	H	E
FMEA programı uygulama	H	H	E
IPK programları uygulama	E	E	E
Kalite planı geliştirme	H	H	H
E: Evet H: Hayır			

6.5.3.3 Doğrulama

Her şey yolunda gidiyor diyebilmek için gerçekleştirilmesi gereken analizin en son aşamasıdır. Doğrulamada amaç, düzeltici önlemlerin uygulandığını doğrulamak ve yeni oluşan hataları belirlemektir. Doğrulamada amaç, Ürünün üretimine geçilmeden önce düzeltici önlemlerin uygulanmasının doğrulanması ve sistemin, zaman içinde değişime uğramadığının doğrulanmasıdır. Ayrıca uygulamaya alınan önlemlerin, öngörülen önlemler ile uyum gösterip göstermediklerinin doğrulanması da yapılabilir. (Yılmaz, 1997)

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (TASARIM FMEA)

Sistem : FMEA No :
 Alt sistem : FMEA Tarihi :
 Parça : Hazırlayan :
 Parça No : Sayfa :
 Anahtar Takım :
 Tasarım Sorumluluğu :
 Hedef Tarih :

Tasarım Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkisi	Kritik Karakter	Şiddet	Hatanın Potansiyel Sebebi	Oluşma	Tespit Yöntemi	Tespit ROS	Önerilen Faaliyet	Sorumlu ve Tamamlanma Tarihi	Aksiyon Sonuçları			
											Alınan Önlem	Şiddet	Oluşma	Tespit ROS

ONAYLAYAN

Şekil 6.7: Tasarım FMEA Formu (FORD, 1995)

7 UYGULAMA

7.1 Firmanın Tanıtımı

1962 yılında Amper Elektrik Evi olarak ticari hayatına başlayan firma 1968 yılında Amper Elk. Koll. Şti olarak unvanını değiştirdi. Kurulduğu ilk yıllarda sadece bir satış mağazası niteliğinde olan Amper zaman içerisinde elektrik tesisatı, elektrik malzemeleri satışı, elektrik pano ve dağıtım kutuları imalatı işleri yapmakta iken, firma 1972 yılında bugünkü unvanı olan AMPER Elektrik İnşaat ve Sanayi A.Ş. olarak ticari hayatını sürdürmeye devam etti. Kurulduğu yıldan günümüze kadar varlığını sürdüren firma bünyesinde paratoner ve topraklama malzemeleri üretimi, topraklama sistemlerinin tesisi, çeşitli yurtdışı markaların Türkiye distribütörlüğünü sürdürmekle birlikte üretimini yaptığı paratoner ve topraklama malzemelerinin de ihracatını gerçekleştirmektedir.

Kurulduğu ilk dönemlerde sektördeki ihtiyaç doğrultusunda paratoner ve topraklama sistemleri konusuna yönelen Amper A.Ş. bugün hem yurtiçine hem de yurtdışına satışlar yapmaktadır. 1970li yılların başında ithal edilerek gündeme gelen radyoaktif paratonerler bazı firmalar tarafından RA226 kaynaklı olarak ülkemize sokulmuş ve tesis edilmiştir. Fakat Amper A.Ş. aynı yıllarda yaptığı araştırmalar sonucunda aynı sistemin Americium (AM241) oksitleriyle de yapıldığını öğrenmiş ve Fransa' dan ilk olarak ülkemize Am241 ihtiva eden radyoaktif paratonerleri ithal etmiştir. Fakat 1970 yılların sonlarına doğru baş gösteren döviz krizleri ve ithalatta yaşanan zorluklar firmaya yerli üretime zorlamış ve kendi markası ile radyoaktif paratonerler imal etmeye başlamıştır.

2000li yılların başında gündeme gelen radyoaktif malzeme imalatı ve ithalatı, ilk olarak paratoner imalatında yasaklanmaya yol açtı. Bunun en geçerli sebepleri ise artan radyoaktif fazlalığı, çevre sağlığı ile Türkiye'nin Avrupa Birliğine giriş süreci ve bunun getirdiği kurallardır. Firma böyle bir yasaklamanın ilerleyen zamanlarda gündeme geleceğini önceden tahmin ederek 1990li yılların başında ilk olarak radyoaktif madde ihtiva etmeyen piezoelektrik sistemle çalışan elektrostatik tip Franklin Paratonerlerini ithal ederek ülkemizde satışa sunmuştur.

Şimdilerde ise Amper A.Ş.'nin ürettiği ve sattığı ürünler arasında Franklin tip paratonerler, Faraday kafesi yakalama ucu ve topraklama malzemeleri, paratoner ankraj

malzemeleri İç yıldırımlik sistemleri ışıklı ikaz sistemleri yer almaktadır. Elektrostatik Paratoner üretimi ise şu anda yapılamamasının sebebi bu konuda ülkemizde verilmiş bir TSE veya test belgesi olmadığından TSE nin elektrostatik paratonerlere verdiği belgeler, yaşanan karmaşa nedeniyle iptal edilmiş olmasıdır. (AMPER, 2004)

7.2 Yıldırım Tanımı

Bir bulut içerisinde hidrometeorlar olarak adlandırılan parçacıklar gelişir ve etkileşime girer, çarpışma sayesinde de yüklenir. Daha büyük parçacıkların daha fazla negatif yük kazanma, daha küçük parçacıkların ise daha fazla pozitif yük kazanma eğilimde oldukları düşünülmektedir. Bu parçacıklar, bulutun yukarı bölümünün tamamen pozitif yük kazanması ve bulutun aşağı kesimlerinin negatif olarak yüklenmesine kadar, dikey hareketler ve yer çekiminin etkisiyle ayrılma eğilimindedir. Bu yük ayrılması, hem bulut içerisinde hem de bulut ile yer arasında çok büyük bir elektrik potansiyeli oluşturur. Bu potansiyel milyon voltlar seviyesinde olabilir ve sonunda havadaki elektriksel direnç bozulur ve parlama (şimşek çakması) başlar. Yani şimşek orajın negatif ve pozitif bölgelerindeki elektriksel boşalmadır.

Bir şimşek çakması, ortalama dört çakma serisinden oluşmaktadır. Her şimşek çakmasının boyut ve süresi değişiktir, ancak tipik olarak ortalama 30 mikrosaniyedir. Her çakma için ortalama en yüksek güç 1012 watt'dır. (AMPER, 2004)

En Yaygın Şimşek Tipleri şunlardır:

1- Bulut-Yer Arasında (Yıldırım): En tehlikeli ve hasar verici olan şimşek türüdür. En yaygın tip olmamasına rağmen, en iyi anlaşılan tiptir. Çoğu çakma daha düşük yük merkezine yakın oluşur ve yeryüzüne negatif yük dağıtır. Buna rağmen çakmaların kayda değer bir azınlığı yeryüzüne pozitif yük taşır. Bu pozitif çakmalar sıklıkla bir orajın dağılma aşamasında oluşur. Pozitif çakmalar aynı zamanda kış ayları boyunca toplam yer boşalmalarının (yıldırım) daha yüksek bir yüzdesini oluşturur. (AMPER, 2004)

2- Bulut İçi Şimşek: En yaygın yük boşalma tipidir. Bu tip, aynı bulut içerisinde zıt yük merkezleri arasında oluşur. Genellikle bu işlem bulut içinde oluşur ve bulutun dışından bakıldığında titreşen parlaklığın bir yayılımı olarak görülür. Bunun yanında, çakma bulut sınırlarının dışına çıkabilir ve bulut-yer arası çakmaya (yıldırım) benzer birkaç millik parlak bir ışık kanalı görülebilir.

Bulut-Yer ve bulut içi çakmaların oranı orajdan oraja önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. En büyük dikey gelişime sahip fırtınalar, genellikle sadece bulut içi çakmayı meydana getirir. Kimileri, değişkenliğin yüksek enlemlerde oluşan bulut-yer arası çakmaların daha büyük bir yüzdeyle enleme bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Diğerleri ise bulut tepe yüksekliğinin değişkenlikte daha önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Yük boşalmasının niçin bulut içerisinde kaldığı ya da yere ulaştığı konusundaki detaylar anlaşılamamıştır. Belki de bir çakma, bulutun aşağı kısımlarındaki elektrik alan gradyanı, aşağı doğru olan gradyandan daha kuvvetli olduğunda yeryüzüne doğru yayılmaktadır.

Yeryüzü üzerindeki bulut yüksekliğine ve bulut ile yeryüzü arasındaki elektrik alanı gücüne bağlı olarak yük boşalması, bulut içerisinde kalır veya yeryüzü ile direk temas olur. Eğer bulutun aşağı kesimlerindeki elektrik alanı yüksekse buluttan yere doğru bir çakma oluşabilir. (AMPER, 2004)

3- Bulutlar Arası Şimşek: İki farklı bulutun yük merkezleri arasında oluşur. Bu durumda bulutlar ile açık hava arasında yük boşalması ile bir köprü oluşur.

Yıldırım deşarjı başlıca iki aşamadır:

1- Ön deşarjın oluşumu

2- İyonlaşmış kanal üzerinden ana deşarj.

Herhangi bir bulutun alt kısmında potansiyel farkı yeterli bir seviyeye geldiği zaman toprağa doğru bir elektron demeti fırlar. Bu birinci deşarj 30 ila 50 metrelik bir mesafeyi saniyede 60-50.000 km arasında değişen bir hızla kateder. 30 ila 100 mikrosaniye süren bir aradan sonra ikinci bir deşarj birincinin oluşturduğu iyonlaşmış yolu izler ve öncekinden yaklaşık olarak daha ileriye erişir. Daha sonra bir üçüncü deşarj meydana gelir. Deşarjlar serisi birbirini izleyerek devam eder. Her bir deşarj öncekinden daha ileriye(dalgalar gibi) ulaşır. Böylece şimşegin ucu bu şekilde yeryüzüne kadar iner.

Bu sırada deşarj ile yeryüzü arasındaki elektrik alanı gittikçe fazlalaşmaktadır. Bu alanın değeri yeterli bir seviyeye ulaştığı zaman yeryüzünün elverişli bir noktasından yüklü bir elektron demeti fırlar ve ön deşarjla birleşmek üzere hareket eder. Bu demetin boyu 5m~10m ~ 150 metre olan aralıklarla atlandığı gözlenmiştir. Yeryüzünden fırlayan deşarj, buluttan inen deşarjla birleştiği zaman oluşan iletken kanallardan yeryüzüne akar. (AMPER, 2004)

Yıldırım, önlenmesi mümkün olabilen bir hadise değildir. Bunun için yapılabilecek tek şey en iyi şekilde korunmanın yollarını bulmaktır. Yıldırımın direk etkisinden korunmak için kullandığımız sistemler şunlardır:

- Yakalama çubuğu (franklin rod)
- Faraday kafesi sistemi
- Gergili tel metodu
- Radyoaktif paratoner sistemi
- Aktif paratoner sistemi (AMPER, 2004)

7.3 Yıldırım Korunma Yolları

7.3.1 Yakalama Çubuğu

Franklin çubuğu veya yakalama ucu sistemleri olarak bilinen bu yöntem genelde kule tarzı yerlerin yıldırımdan korunmasında kullanılan basit bir metal uç, iniş iletkeni ve topraklama bölümlerinden oluşan bir yıldırımdan korunma yöntemidir. Sabit bir koruma açısı ile belirlenen bir alanı koruyabilmektedir. Bu koruma açısı tesis için hesaplanması gereken yıldırımdan korunma gerekliliği seviyesine göre aşağıdaki tablodan seçilir. Bu sistemde koruma alanı bu açıya ve yakalama ucunun yerden yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. (AMPER, 2004)

7.3.2 Faraday Kafesi

Faraday Kafesi ile korunmak için, korunacak bina bütün tali kısımları ile birlikte binanın en yüksek yerlerinden toprağa kadar sürekli ve kesintisiz iletken bir yol teşkil edecek şekilde sarılacaktır. Yatay bağlantılarla tamamlanan iletkenlerin oluşturduğu birçok yakalama ucuna sahip bu kafes, tesis edilmiş bir topraklama sistemine bağlanacaktır.

Faraday kafesi sistemi; yakalama uçları, iniş iletkenleri ve topraklama sisteminden meydana gelmektedir. Franklin çubuğu ve Faraday kafesi uygulaması için, koruma düzeylerinde bu tesisatlara karşı gelen kriterlere uygun olacaktır.

Topraklamanın genel kütlesine bilerek veya tesadüfen bağlanmış olan ana çatı üzerinde veya üst tarafındaki bütün metal çıkıntılar, yakalama uçları sistemi ile bağlanmalı ve

sistemin bir bölümünü teşkil etmelidir. Yapının bazı bölümlerinin yükseklikleri, önemli miktarda değişiyorsa alçak bölümler için gerekli yakalama ucu veya yakalama uçları sistemi, kendi iniş iletkenine bağlanmasına ek olarak yüksek bölümlerin iniş iletkenlerine de bağlanmalıdır. (AMPER, 2004)

7.3.3 Gergi Teli Metodu

Gergi teli ile yıldırımdan korunma yöntemi binanın iki veya daha fazla tarafından dikilen direklerin arasına binayı koruma içerisine alacak yükseklikten gergi teli bağlanması ile oluşur. Direkler , gergi teli ve direklerin topraklaması arasında elektriksel süreklilik sağlamalı ve gergi teli yıldırım akımını taşıyabilecek kesitte olmalıdır (min. 50 mm²). Yüksek binalarda uygulama zorluğu ve görsel olarak bina üzerinde çirkin bir görüntü oluşturduğundan pek fazla kullanılan bir yöntem değildir. (AMPER, 2004)

7.3.4 Radyoaktif Paratoner Sistemi

Ülkemizde 1970'li yılların başından beri kullanılmakta olan radyoaktif paratonerler Radium (Ra-226) ve Americium (Am-241) kaynaklı olmak üzere iki tip olarak üretilmiştir.

Am - 241 kaynaklı radyoaktif paratonerler alfa ışını yaymaktadırlar. Bu ışınların madde içindeki erişme uzaklıkları çok kısadır. Bu nedenle zırhlanmaları çok kolaydır. Cilt, laboratuvar önlüğü ve giysiler alfa ışınları için birer zırh maddesidir. Alfa ışınlarının direk temas yoluyla vücuda alınmaması halinde zararları yoktur. Ancak, paratoner içindeki Americium kaynağın çıplak elle tutulup, bunun da vücuttan içeri girmesi halinde zararları mevcuttur.

Ra - 226 kaynaklı radyoaktif paratoner hem alfa hem de beta ışınları yaymaktadır. Beta ışınları ise alfa ışınlarından daha giricidir. Cilt ve giysiler beta ışınlarını zırhlanmada yetersiz kalır. Yani, radium kaynaklı radyoaktif paratonerler yaydıkları beta ışını sebebiyle vücuda zararlıdır.

Bu nedenle, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu radium kaynaklı radyoaktif paratonerlerin üretimini, montajını ve kullanımını 30.07.2001 tarih ve 10700-1485 sayılı genelge gereği yasaklanmış yine aynı kurum tarafından yetki belgesi verilen kuruluşlar tarafından demonte edilip Çekmece Nükleer Atom Enerji Merkezine teslim edilmesi

mecburiyeti getirilmiştir. Americium kaynaklı paratonerlerin ise sadece üretimi durdurulmuştur. Fakat, Americium kaynaklı paratonerlerinde kaynağın (Am - 241) üzerini örten palladyum maddesinin zamanla korozyona uğrayıp, Radyoaktif maddenin açığa çıkacağı ve kontaminasyon yaratacağı tehlikesi göz önüne alınarak, montajından sonra 10 yıl geçen radyoaktif paratonerlerin yerine T.A.E.K tarafından demontesi tavsiye edilmektedir. (AMPER, 2004)

7.3.5 Aktif Paratoner Sistemi

İki tip aktif paratoner mevcuttur:

1. Elektrostatik Aktif Piezoelektrik Kristalli Paratoner: Bu paratoner içinde bulundurduğu piezoelektrik seramikler sayesinde yüklenir. Piezoelektrik seramikler elektrik enerjisini mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi elektrik enerjine çeviren kristal yapılardır. Kurşun Zirkotitanat diye tabir edilen çok sert bir malzemeden oluşmuş olup, uçları ince bir tabaka ile elektrot kalitesinde nikel kaplanmıştır. Seramikler, yalnızca basıncı artırmak suretiyle 20000 ila 25000 volt arası enerji üretir.

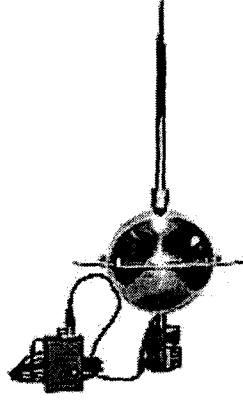
Üretilen bu enerji paratonerinin uç kısmına iletilerek gelen yıldırım akımının yakalama ucuna düşmesi sağlanır.

Bu paratoneri birçok yönden üstündür. Piezoelektrik kristal, tabiatta doğal olarak bulunan bazı madenlerden üretilirler. Bu nedenle de yıldırım deşarjlarından etkilenmezler ve dolayısıyla da bakım gerektirmezler. Hem pozitif hem de negatif yıldırım deşarjına karşı korunmalıdır.

2. Elektrostatik Aktif Paratonerler: Yıldırım düşeceği havalardaki elektromanyetik alan iyonlaşmanın fazla olmasından dolayı normal zamanlardakinin beş katı düzeyinde olur. Bu tipteki paratonerler elektromanyetik alanın etkisi ile yüklenirler. Yükler paratonerinin yakalama ucuna iletilerek yıldırımın paratoner üzerine düşmesi sağlanır. Yalnız elektrostatik paratonerler sadece pozitif yüklerle yüklenirler. Dolayısıyla yukarıdan aşağı düşen yıldırımlarda etkilidir. Fakat yıldırımlar % 10' luk kısmı aşağıdan yukarıya atlamalar şeklinde olur. (AMPER, 2004)

7.4 Ürünün Tanıtımı

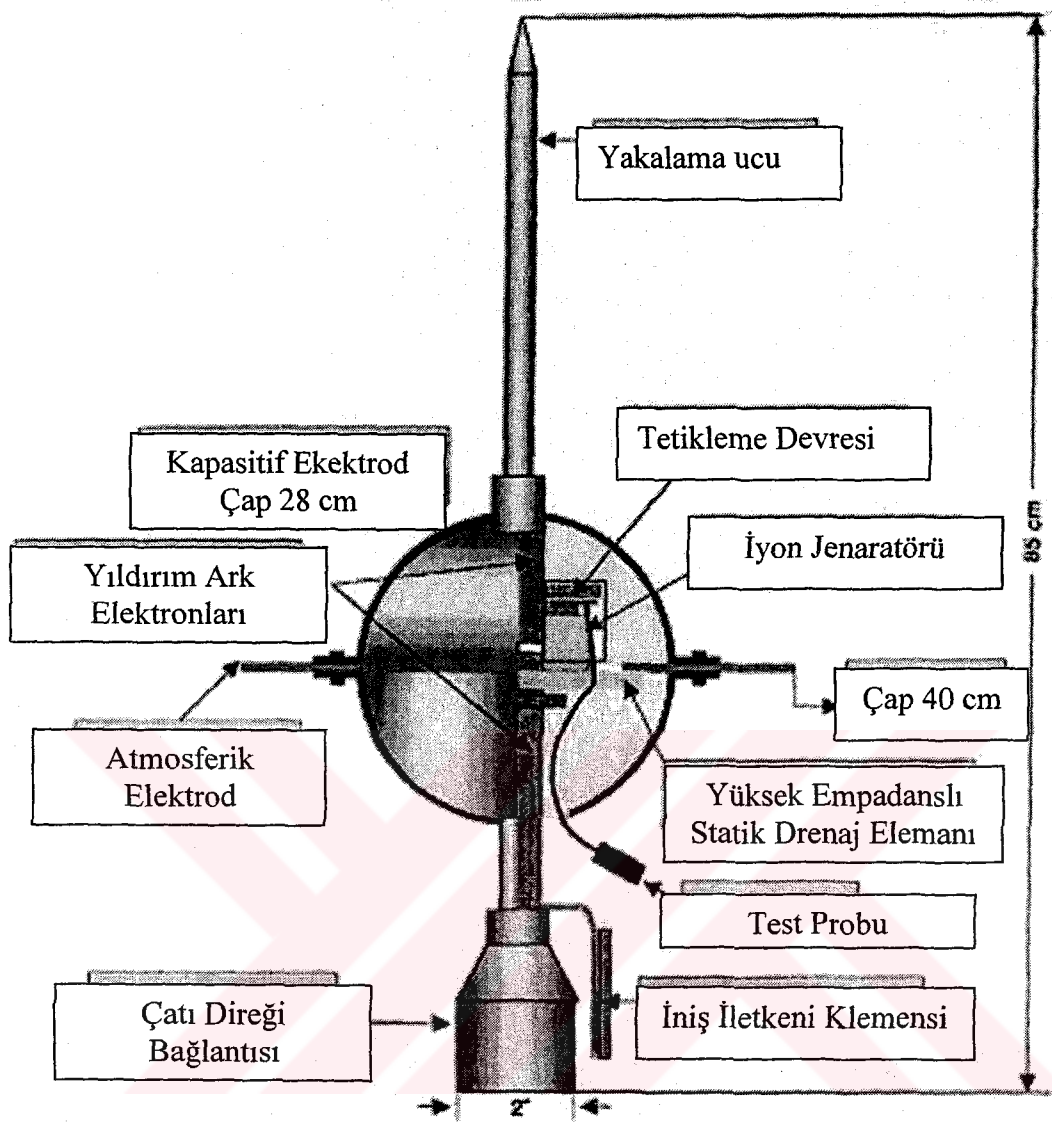
Bu çalışmada kullandığımız paratoner çeşidi Elektrostatik aktif paratonerdir. Bu paratoner genel bir görünüşü Şekil 7.1' de gösterilmektedir.



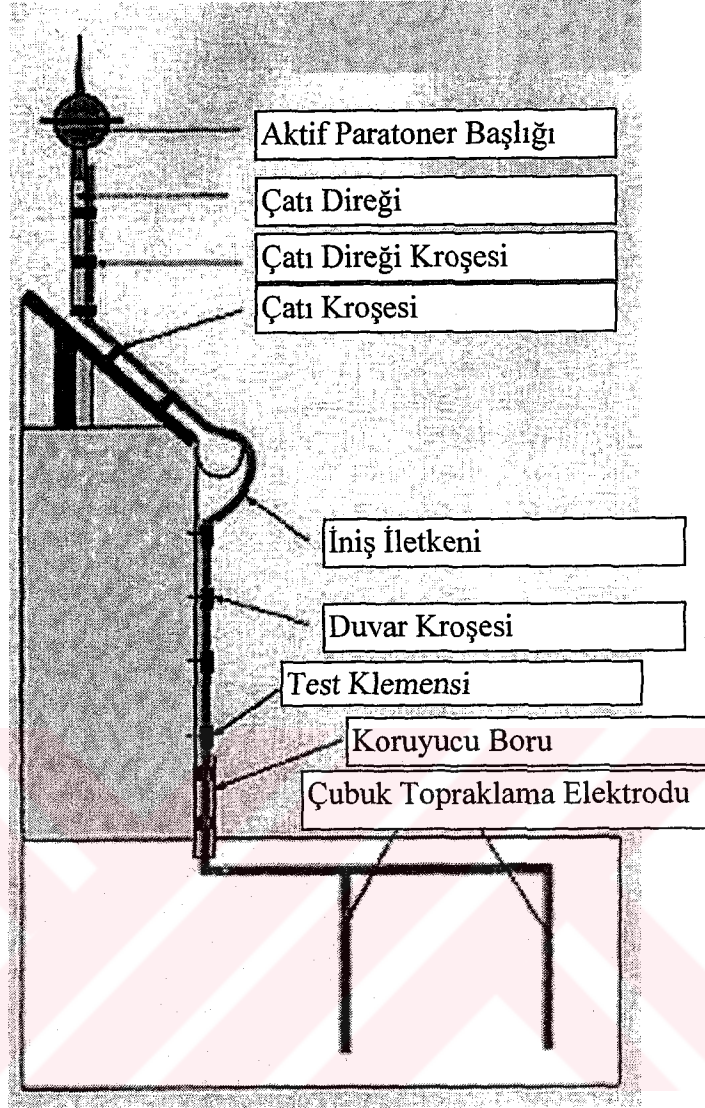
Şekil 7.1: Elektrostatik Aktif Paratoner (AMPER, 2004)

Yıldırım düşeceği havalarda, havadaki iyon yükü arttığından, ortamdaki manyetik alan normal zamanlara göre beş kat daha güçlü olur. Bu yoğun manyetik alanda Elektrostatik Aktif Paratonerin etrafını çevreleyen halka şeklindeki elektrot pozitif yükü yüklenmeye başlar. Bu yüklenme bir bobin sayesinde paratonerin içindeki yıldırım ark elektrotlarına oradan da yakalama ucuna iletilir. Bu sayede negatif yüklü atlamaların yakalanması sağlanır. Şekil 7.2 Elektrostatik Aktif Paratoner iç yapısını göstermektedir.

Elektrostatik Aktif Paratoner binalara monte edilirken her binada ayrı bir keşif ve tasarım gerekmektedir. Çünkü Elektrostatik Aktif Paratonerin çalışması binanın korunması yetmez. O bina için diğer etmenlerin ve elemanların tam ve düzgün şekilde hesaplanıp monte edilmiş olması gerekir. Bir Elektrostatik Aktif Paratonerin bina üzerine nasıl monte edildiğinin şematik gösterimi Şekil 7.3' de gösterilmektedir. (AMPER, 2004)



Şekil 7.2: Elektrostatik Aktif Paratoner İç Yapısı (AMPER, 2004)



Şekil 7.3: Elektrostatik Aktif Paratoner Montajı (AMPER, 2004)

7.5 FMEA Ekibi ve Çalışma Yöntemi

AMPER A.Ş.' de, FMEA çalışmasına başlanmadan önce firma yönetimine FMEA çalışmasının getireceği yararlar anlatılmış ve onların bu çalışma için onayı alınmıştır. Bu onaydan FMEA ile ilgili ekip oluşturulması sırasında da üst yönetimin fikri alınmış ve FMEA ekibi Tablo 7.1' deki şekilde oluşturulmuştur.

Tablo 7.1: FMEA Ekibi

Adı Soyadı	İşletmedeki Görevi	Ekipteki Görevi	Mesleği
Gökhan Akman	Proje Müdürü	Ekip Lideri	elektrik Mühendisi
Serdar Tosun	Kalite Yönetim Sorumlusu	Üye	Elektrik – Elektronik Mühendisi
Elif Dikdere	Satıştan Sonra Hizmetler Sorumlusu	Üye	Elektrik – Elektronik Mühendisi
Akın Güler	Tesisat Sorumlusu	Üye	Elektrik – Elektronik Mühendisi
Ö. Ömer Aydın	Kalite Danışmanı	Üye	Endüstri Mühendisi

FMEA ekibi 5 hafta boyunca her Çarşamba günü bir araya gelerek (10:00 – 12:00 arası) Elektrostatik aktif Paratonere tasarım FMEA çalışması uygulayacaktır.

Ekip çalışmaya başlamadan önce FMEA ile ilgili olarak Kalite Danışmanı tarafından eğitime alınmış, tasarım FMEA nasıl uygulanacağı konusunda 4 saatlik bir toplantı yapılmıştır.

7.6 FMEA çalışması

Tasarım FMEA çalışması ana konusu şu şekilde belirlenmiştir: Elektrostatik Aktif Paratoner binadan binaya uygulanışı farklı olduğu için her seferinde her bina için ayrı bir tasarım yapılmaktadır. Yapılan bu tasarımlarda montaja başlamadan önce meydana gelebilecek hataları görmek ya da montaj aşamasında fonksiyonları etkileyebilecek hataları belirlemek için tasarım FMEA çalışması yapılmaktadır.

Çalışmanın ilk aşaması olarak Elektrostatik Aktif Paratoner montajında kullanılan tüm parçaların ve bunların fonksiyonlarının belirlenmesidir. Kullanılan parçalar ve fonksiyonları Tablo 7.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 7.2: Kullanılan Parçalar ve Fonksiyonları

Parça Adı	No	Özelliği	Fonksiyonu
Aktif Paratoner Başlığı	1	Korozyona karşı paslanmaz malzemeden olmalı	Yıldırım düşeceği havalarda pozitif yüklenme
			Yıldırımı yakalama
			Yıldırım akımını iniş iletkenine iletme
Taşıyıcı direk	2	Sıcak galvanizli 60 mm çapında, 6 mt boyunda çelik borudan yapılmalı	Paratoner başlığının çatı üzerinde tutulması
			Paratoner başlığını yeterince yükseğe yerleştirilmesi (1/5 oranı)
Direk bağlantı parçaları (kroşeler, kelepçeler)	3	Paslanmaz çelikten üretilmeli	Direği sabitlemek
İniş iletkeni klemensi	4	Paslanmaz çelikten üretilmeli	Paratonerle, iniş iletkeni arasındaki bağlantıyı sağlayarak yıldırım akımını iletilmesi
İniş iletkeni	5	2x50 mm ² som bakır ya da min. 80 mm ² şerit iletken olmalı	Yıldırım akımını toprağa iletme
İniş iletkeni bağlantı kroşeleri	6	Binanın özelliğine uygun	İniş iletkeninin sabitlenmesi
Test klemensi	7	Bakırdan üretilmeli	Tesisatın toprak geçiş direncini ölçer
Topraklama elektrodu	8	20 mm çapında 3,5 m boyunda ucu sivri elektrolitik bakır çubuk	Yıldırım akımını toprağa dağıtmak

Elektrostatik Aktif Paratoner tasarımı için kullanılan tüm malzemeler ve bunların fonksiyonunun listesinden sonra bu fonksiyonlara ilişkin ne tür hataların olabileceği, bu hataların sebepleri, etkileri, kontrolleri ve hataları önlemek için faaliyetler konularında beyin fırtınası yapılarak FMEA tablosu doldurulmuştur. Bu çalışmaya ilişkin FMEA tablosu aşağıda (Tablo 7.3) gösterilmiştir.

Tablo 7.3: FMEA Tablosu
HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ
(TASARIM FMEA)

X Sistem : Elektrostatik Aktif Paratoner : FMEA No: : T 04-01
Alt sistem : : FMEA Tarihi : 30.09.2004
Parça : : Tasarım Sorumluluğu : Projelendirme Dep. Hazırlayan : Kalite Yönetim Sor.
Parça No : : Hedef Tarih : 30.09.2004 Sayfa : 1/7
Anahtar Takım : G. Akman, S. Tosun, E. Dikdere, A. Güler, Ö. Aydın

Tasarım Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkisi	Kritik Karakter	Şiddet	Hatanın Potansiyel Sebebi	Oluşma	Tespit Yöntemi	ROS	Önerilen Faaliyet	Sorumlu ve Tamamlanma Tarihi	Aksiyon Sonuçları			
											Alınan Önlem	Şiddet	Oluşma	Tespit
1- Yıldırım düşeceği havalarda pozitif yüklenme	Paratonerin içindeki Bobinin kopuk olması	Paratoner çalışmaz		10	Girdi Kontrolün 2 yada tedarikçi kontrolünün yapılmaması	2	Girdi Kontrol' de test raporlarının istenmesi	1 20	-					
1- Yıldırım düşeceği havalarda pozitif yüklenme	Paratonerin içindeki ark aralığının normalden büyük olması	Paratoner çalışmaz		10	Girdi Kontrolün 2 yada tedarikçi kontrolünün yapılmaması	2	Girdi Kontrol' de test raporlarının istenmesi	1 20	-					
1- Yıldırım düşeceği havalarda pozitif yüklenme	Paratonerin içindeki iletkende temassızlık olması	Paratoner çalışmaz		10	Girdi Kontrolün ya da tedarikçi kontrolünün yapılmaması	2	Girdi Kontrol' de test raporlarının istenmesi	1 20	-					
1- Yıldırım yakalama	Paratonerin çevreye göre en yukarıda olmaması	Yıldırım Paratoner üzerine düşmez		10	Tasarım yapılırken bölgenin iyi analiz edilmesi	6	Keşif personeli göz kontrolü	4 240	Keşif yapan personelin eğitimi	Proje Müdürü tarafından eğitim verilmesi	10 2	3	60	

Devamı var

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (TASARIM FMEA)

X Sistem :Elektrostatik Aktif Paratoner :FMEA No :T.04-01
Alt sistem : :FMEA Tarihi :30.09.2004
Parça : :Tasarım Sorumluluğu :Projelendirme Dep. Hazırlayan :Kalite Yönetim Sor.
Parça No : :Hedef Tarih :30.09.2004 Sayfa :2/7
Anahtar Takım :G. Akman, S. Tosun, E. Dikdere, A. Güler, Ö. Aydın

Tasarım Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkisi	Kritik Karakter	Şiddet	Hatanın Potansiyel Sebebi	Oluşma	Tespit Yöntemi	Tespit	ROS	Önerilen Faaliyet	Sorumlu ve Tamamlanma Tarihi	Aksiyon Sonuçları			
												Alınan Önlem	Şiddet	Oluşma	Tespit
1-Yıldırım yakalama	Koruma çapı olarak uygun paratoner seçilmemesi	Binanın belli bir kısmı korunmaz	9	Projelendirme hatası	7	Paratoner etiketlerinin kontrolü	1	63	-						
1-Yıldırım yakalama	Paratonerin içindeki bobin sayısının yetersiz olması	Paratonerin koruma çapı küçülür.	9	Girdi Kontrolün ya da tedarikçi kontrolünün yapılmaması	2	Girdi Kontrol' de test raporlarının istenmesi	1	18	-						
1-Yıldırım akımını iletenine iletmeye	Yıldırım akımına dayanım testinin yapılmaması	Yıldırım akımı bina üzerinde dolaşır.	10	Girdi Kontrolün ya da tedarikçi kontrolünün yapılmaması	2	Girdi Kontrol' de test raporlarının istenmesi	1	20	-						
1-Yıldırım akımını iletenine iletmeye	Paratonerin içindeki ark aralığının küçük olması	Paratonerin önüne kısırlar	8	Girdi Kontrolün ya da tedarikçi kontrolünün yapılmaması	2	Girdi Kontrol' de test raporlarının istenmesi	1	26	-						

Devamı var

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (TASARIM FMEA)

X Sistem : Elektrostatik Aktif Paratoner : FMEA No : T.04-01
Alt sistem : : FMEA Tarihi : 30.09.2004
Parça : : Tasarım Sorumluluğu : Projelendirme Dep. Hazırlayan : Kalite Yönetim Sor.
Parça No : : Hedef Tarih : 30.09.2004 Sayfa : 3/7

Anahtar Takım : G. Akman, S. Tosun, E. Dikdere, A. Güler, Ö. Aydın

Tasarım Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkisi	Kritik Karakter	Şiddet	Hatanın Potansiyel Sebebi	Oluşma	Tespit Yöntemi	Tespit	ROS	Önerilen Faaliyet	Sorumlu ve Tamamlanma Tarihi	Aksiyon Sonuçları			
												Alınan Önlem	Şiddet	Oluşma	Tespit
2- Paratoner başlığının çatı üzerinde tutulması	Paratoner ile direk bağlantısının uygun yapılmaması	Paratoner devrilir.		10	Personelin dikkatsiz çalışması	6	Montaj personelinin göz kontrolü	2	120	Montaj prosedürünün ve kontrol listesinin oluşturulması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerinin ve kontrol listesinin hazırlanması	10	6	1	60
2- Paratoner başlığını yeterince yükseğe yerleştirilmesi	Direk 1m binada sabitlenerek 5 m havada sabitlenir.	Direk devrilir.		10	Yönetmeliğin bilinmemesi	8	Montaj Personelinin Göz kontrolü	4	320	Montaj prosedürünün ve kontrol listesinin oluşturulması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerinin ve kontrol listesinin hazırlanması	10	8	1	80

Devamı var

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (TASARIM FMEA)

X... Sistem : Elektrostatik Aktif Paratoner : FMEA No : T 04-01
 Alt sistem : : FMEA Tarihi : 30.09.2004
 Parça : : Tasarım Sorumluluğu : Projelendirme Dep. Hazırlayan : Kalite Yönetim Sor.
 Parça No : : Hedef Tarih : 30.09.2004 : 4/7
 Sayfa :
 Anahtar Takım : G. Akman, S. Tosun, E. Dikdere, A. Güler, Ö. Aydın

Tasarım Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkisi	Kritik Karakter	Şiddet	Hatanın Potansiyel Sebebi	Oluşma	Tespit Yöntemi	Tespit	Önerilen Faaliyet	Sorumlu ve Tamamlanma Tarihi	Aksiyon Sonuçları				
											Alınan Önlem	Şiddet	Oluşma	Tespit	
3-Direği sabitlemek	Direğin 1 m aralıklarla sabitlenmemesi	Direk devrilir.		10	Personelin dikkatsiz çalışması	8	Montaj Personelinin Göz kontrolü	5	400	Montaj prosedürünün ve kontrol listesinin oluşturulması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerinin ve kontrol listesinin hazırlanması	8	5	1	40
4- Paratonerle, iniş iletkeni arasındaki bağlantıyı sağlayarak yıldırım akımını iletilmesi	Bağlantının uygun yapılmayarak yıldırım akımının iniş iletkenine iletilmemesi	Yıldırım akımı bina üstünde kalır.		10	Personel Hatası	5	Montaj Personelinin Göz kontrolü	6	300	Montaj prosedürünün ve kontrol listesinin oluşturulması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerinin ve kontrol listesinin hazırlanması	10	6	1	60

Devamı var

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (TASARIM FMEA)

X Sistem : Elektrostatik Aktif Paratoner : FMEA No : T 04-01
 Alt sistem : : FMEA Tarihi : 30.09.2004
 Parça : : : Kalite Yönetim Sor.
 Parça No : : :
 Anahtar Takım : G. Akman, S. Tosun, E. Dikdere, A. Güler, Ö. Aydın : 30.09.2004 : 5/7

Tasarım Sorumluluğu
Hedef Tarih

Tasarım Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkisi	Kritik Karakter	Siddet	Hatanın Potansiyel Sebebi	Oluşma	Tespit Yöntemi	Tespit	Önerilen Faaliyet	Sorumlu ve Tanımlanma Tarihi	Aksiyon Sonuçları			
											Alınan Önlem	Siddet	Oluşma	Tespit
5- Yıldırım akımını toprağa iletmek	İletken kesitinin küçük seçilmesi	Kuvvetli akımdan dolayı yanma riski		10	Yönetmelikle rin bilinmemesi	6	Montaj Personelinin Göz kontrolü	8	Montaj prosedürünün ve kontrol listesinin oluşturulması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerin in ve kontrol listesinin hazırlanması	10	6	1	60
5- Yıldırım akımını toprağa iletmek	İletken malzemenin örgülü malzemeden seçilmesi	Tellerdeki manyetik alandan dolayı elektrik tesisatı zarar görür.		10	Yönetmelikle rin bilinmemesi	6	Montaj Personelinin Göz kontrolü	3	Montaj prosedürünün ve kontrol listesinin oluşturulması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerin in ve kontrol listesinin hazırlanması	10	6	1	60

Devamı var

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (TASARIM FMEA)

X Sistem : Elektrostatik Aktif Paratoner (TASARIM FMEA) FMEA No : T.04-01
 Alt sistem : - FMEA Tarihi : 30.09.2004
 Parça : - Tasarım Sorumluluğu : Projelendirme Dep. Hazırlayan : Kalite Yönetim Sor.
 Parça No : - Hedef Tarih : 30.09.2004 Sayfa : 6/7
 Anahtar Takım : G. Akman, S. Tosun, E. Dikdere, A. Güler, Ö. Aydın

Tasarım Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkisi	Kritik Karakter	Siddet	Hatanın Potansiyel Sebebi	Olusma	Tespit Yöntemi	Tespit	Önerilen Faaliyet	Sorumlu ve Tamamlanma Tarihi	Aksiyon Sonuçları			
											Alınan Önlem	Siddet	Olusma	Tespit
5- Yıldırım akımını toprağa iletmek	İletken kesitinin küçük seçilmesi	Kuvvetli akımdan dolayı yanma riski		10	Yönetmelikle bilinmemesi	6	Montaj Personelinin Göz kontrolü	8	Montaj prosedürünün ve kontrol listesinin oluşturulması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerinin ve kontrol listesinin hazırlanması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerinin ve kontrol listesinin hazırlanması	10	6	1
5- Yıldırım akımını toprağa iletmek	İletkenin bina üzerinde çok dolaştırılması	Maliyetler artar		1	Yönetmelikle bilinmemesi	6	Montaj personelinin göz kontrolü	4	-					
6- İnşaatın iletkeninin sabitlenmesi	Binaya uygun kroşe seçilmemesi. (Ahşap binalarda izole kroşe)	Ahşap bina yanma riski		10	Projelendirme hatası	1	Montaj personelinin göz kontrolü	1	-					
6- İnşaatın iletkeninin sabitlenmesi	Kroşelerin uygun (1m) aralıklarla sabitlenmemesi	uzun zamanda iletken deformasyon		7	Personel Hatası	7	Montaj Personelinin Göz kontrolü	5	Montaj prosedürünün ve kontrol listesinin oluşturulması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerinin ve kontrol listesinin hazırlanması	Kalite Yönetim tarafından montaj prosedürlerinin ve kontrol listesinin hazırlanması			

Devamı var

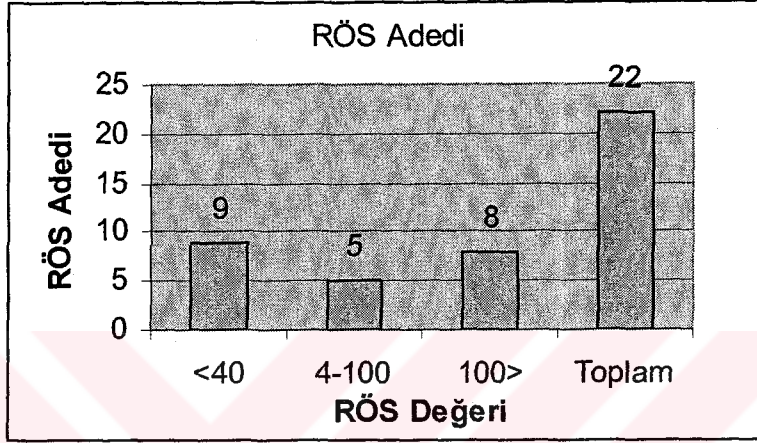
HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (TASARIM FMEA)

X Sistem : Elektrostatik Aktif Paratoner : FMEA No : T.04-01
 Alt sistem : : FMEA Tarihi : 30.09.2004
 Parça : : Tasarım Sorumluluğu : Projelendirme Dep. Hazırlayan : Kalite Yönetim Sor.
 Parça No : : Hedef Tarih : 30.09.2004 : 7/7
 Anahtar Takım : G. Akman, S. Tosun, E. Dikdere, A. Güler, Ö. Aydın Sayfa

Tasarım Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkisi	Kritik Karakter	Şiddet	Hatanın Potansiyel Sebebi	Oluşma	Tespit Yöntemi	Tespit	ROS	Önerilen Faaliyet	Sorumlu ve Tamamlanma Tarihi	Aksiyon Sonuçları			
												Alınan Önlem	Şiddet	Oluşma	Tespit
7-Tesisatın toprak geçiş direncini ölçme	Test klemensi kullanılmaması	Toprak geçiş direnci ölçülemez, tesisatın çalışıp çalışmadığı anlaşılmaz	9	Personel Hatası	4	Montaj Personelinin Göz kontrolü	2	72							
8- Yıldırım akımını toprağa dağıtmak	Elektrodlar arası mesafenin kısa olması	Yıldırım akımı toprağa dağılmaz	9	Personel Hatası	7	Dijital topraklama direnci ölçümü	1	63							
8- Yıldırım akımını toprağa dağıtmak	Uygun (bakır) elektrod seçilmemesi	Yıldırım akımı toprağa iyi dağıtılmaz	9	Personel Hatası	7	Dijital topraklama direnci ölçümü	1	63							
8- Yıldırım akımını toprağa dağıtmak	İniş iletkeni ile elektrod bağlantılarını uygun yapılmaması	Akım elektroda geçemez. Binada kalır.	10	Personel Hatası	7	Dijital topraklama direnci ölçümü	1	70							

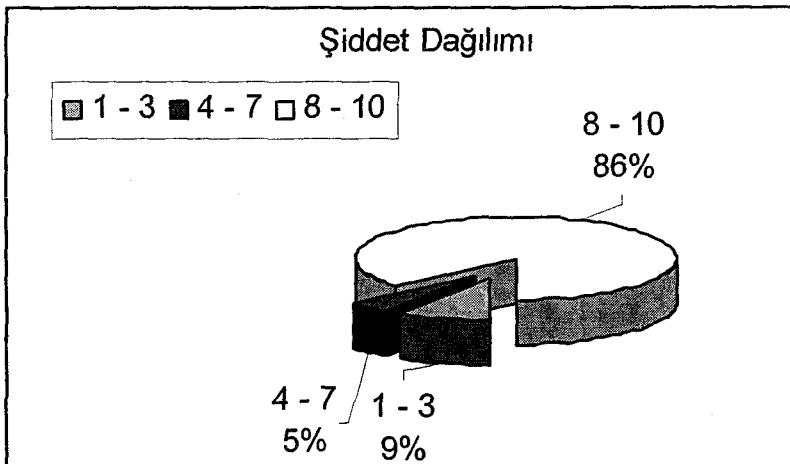
7.7 Sonuç

Gerçekleştirilen Tasarım FMEA sonucu Risk öncelik katsayıları hesaplanmış ve dağılım Şekil 7.4’ te gösterilmiştir. Görüldüğü üzere 8 adet potansiyel hatanın acil önlem alınması gerekmekte diğer hatalarda 5 tanesi ikinci planda önlenmesi gerekmektedir. 9 adet hata türünün ise önleme ihtiyacı yoktur.

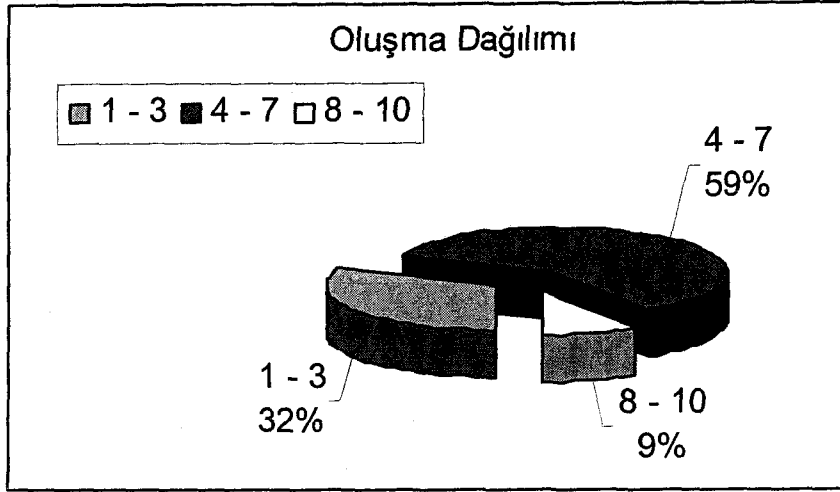


Şekil 7.4: ROS Dağılımı

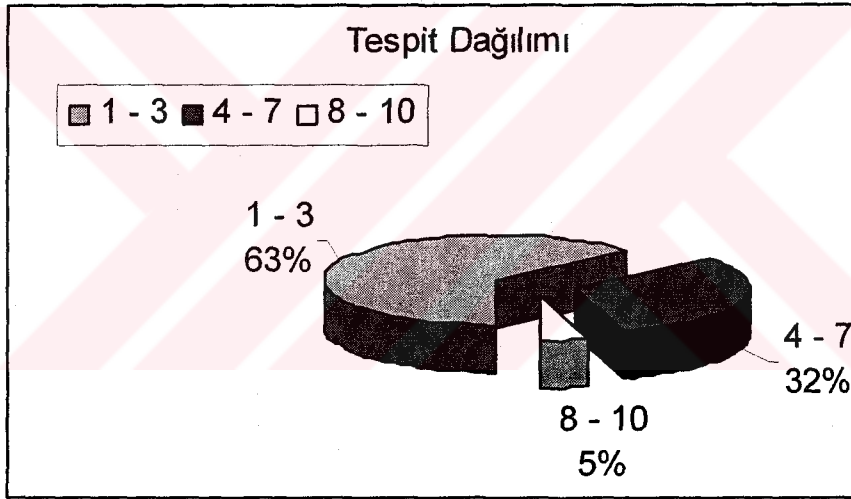
ROS’ e bağlı olarak potansiyel hata türlerinin bileşenlerinin dağılımları da aşağıda gösterilmektedir. Şekil 7.5 şiddet dağılımını, Şekil 7.6 oluşma dağılımını, Şekil 7.7 tespit dağılımını göstermektedir.



Şekil 7.5: Şiddet Dağılımı

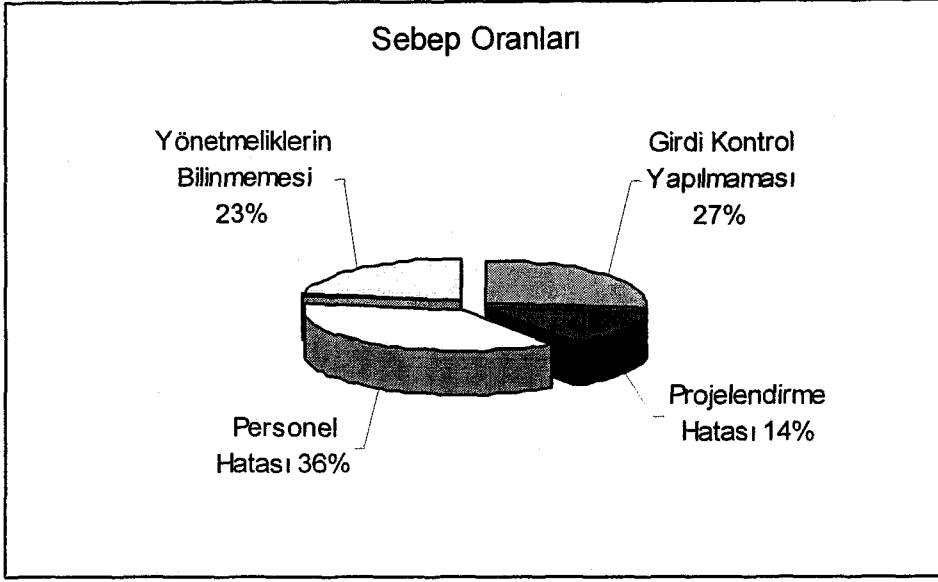


Şekil 7.6: Oluşma Dağılımı



Şekil 7.7: Tespit Dağılımı

Hataların sebeplerinin dağılımı Şekil 7.8' te gösterilmektedir. En yüksek oranın personel hatasında olması, personelin eğitime önem verilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 7.8: Hata Türlerinin Sebeplerinin Oransal Dağılımı

Önlem alınması gereken 8 öncelikli riskten 7 tanesi personel hatasından kaynaklanarak montaj personelinin göz kontrolü ile önlenebileceğinden FMEA ekibi buradaki personel baskın kontrolleri daha belirgin hale getirmek için montaj prosedürlerinin ve montaj tamamlandıktan sonra bir kontrol listesi ile kontrol edilmesinin hataları azaltacağı görüşünde birleşti. Oluşturulan kontrol listesi Şekil 7.9 da gösterilmiştir.

Diğer riskli durum keşiften kaynaklandığı için burada da keşif yapan personelin eğitimine önem verilmesi gerektiği konusunda fikir birliğine varıldı.

Yazılan montaj prosedüründe montajın nasıl yapılacağı ve gerçekleştirilecek kontrollerin nasıl uygulanacağı açıklandı. Kontrol için uygulanacak kontrol listesini montajı yapan personelin dışında bir personel yapması benimsendi.

Önlemler alındıktan sonra tüm ROS' ler 100' ün altına indi. Fakat montaj personeli ile ilgili alınan önlemler sadece tespitte bir iyileştirme meydana getirdi. Hataların oluşma olasılıkları yine eskisi ile aynı kaldı. Bu durumu da azaltmak için montaj personeline Paratoner montajı ile ilgili eğitimlerin verilmesi gerekmektedir. Böylelikle hataların hem tespit etme durumları hem de oluşma olasılıkları iyileştirilerek daha güvenli tasarımlar sunulmuş olacaktır.



MONTAJ KONTROL LİSTESİ
(ELEKTROSTATİK AKTİF
PARATONER)

TARİH :

FORM NO:

MÜŞTERİ ADI: SİPARİŞ NO:
PARATONER MARKASI: KORUMA ÇAPI:
İLETKEN ÇAPI: ELEKTRODLAR ARASI MESAFE:

#	KONTROL EDİLECEK NOKTA	KONTROL SONUCU
1	KORUMA ÇAPI	
2	PARATONER İLE DİREK BAĞLANTISI	
3	PARATONER DİREĞİ BAĞLANTI ORANI (1/5)	
4	DİREK KROŞELERİ BAĞLANTI ARALIKLARI (1m.)	
5	İNİŞ İLETKENİ KLEMENSİ BAĞLANTISI	
6	İLETKEN ÇAPI	
7	İLETKEN MALZEMESİ	
8	İLETKEN BAĞLANTI KROŞELERİNİN BİNAYA UYGUNLUĞU	
9	İLETKEN BAĞLANTI KROŞELERİNİN MONTAJ ARALIKLARI (1m.)	
10	TEST KLEMENSİ KULLANILMASI	
11	ELEKTRODLAR ARASI MESAFE	
12	ELEKTROD MALZEMESİ	
13	İNİŞ İLETKENİ İLE ELEKTROD BAĞLANTILARI	

KONTROL EDEN
ADI SOYADI:

ONAYLAYAN
ADI SOYADI:

İMZA :

İMZA :

AE.F.09/03

REV.00

Şekil 7.9: Montaj Kontrol Listesi

8 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Hata Türü ve Etkileri Analizi oldukça yalın ve uygulaması da o denli kolay bir hata önleme tekniğidir. FMEA' nın uygulanması geçmiş tecrübelerle, ürünle ilgili teknik bilgilere ve ürün kullanımından gelen geri beslemelerle yapıldığı için hem teorik hem de pratik bilgileri bir araya getirmektedir.

Özellikle FMEA' nın tasarım aşamasında uygulanması, benzer ürünlerde geçmişte yapılmış hataları görerek önlemeyi sağlamakta ve yeni ürün fonksiyonlarının da ne tür hatalar vereceği üzerinde düşünülerek gerekli çalışmalar yapılmaktadır.

Bu nedenle Tasarım FMEA hem ürün güvenilirliğini artırarak müşteriye bir güven sağlarken, günümüzde daha da önem kazanmış olan ürün sorumluluğu kavramında firmaları rahatlatmaktadır. Bilindiği üzere Avrupa Birliği kendi pazarına sunulacak ürünlerde talep ettiği CE işaretlemesinin temelinde ürün sorumluluğu yatmakta ve ürünün herhangi bir şekilde çevreye ya da insanlara zarar vermediğini ve yasal mevzuatlara uyduğunu garanti altına almaktadır.

Firmaların özellikle tasarım FMEA kullanarak ürünün fonksiyonlarının ne şekilde hata oluşturabileceğini incelemesi ve bunlarla ilgili gerekli tedbirleri, özellikle Avrupa Birliği ülkelerine yapılan ihracatlarda ürün güvenilirliğini artırarak, firmalar herhangi bir şekilde ürün sorumluluğundan ötürü zarar görmesi engellenebilecektir.

Tasarım FMEA sadece ürünün insana ya da çevreye verdiği zararın azaltılmasından öte ürünün fonksiyonlarını eksiksiz yerine getirmesini sağlayarak müşteri memnuniyetini de artıran önemli tekniklerden biridir.

Sonuç olarak Avrupa Birliğine girmeye aday bir ülke olarak, ürün güvenilirliği ve ürün sorumluluğu çalışmalarına hız verilmelidir. İşte bu aşamada FMEA tekniği ve özellikle tasarım FMEA bu güvenilirliğin en baştan sağlanması yolunda Türk sanayine önemli faydaları olacaktır.

Bu çalışmada gerçekleştirdiğimiz tasarım FMEA uygulamasında firmanın yapa geldiği hata türleri, bunların etkileri ve sebepleri incelenmiş ve firmanın her tasarımıda yaşadığı aynı problemleri tekrar yaşamaması için basit maliyeti düşük tedbir önerilmiştir. Bu

tedbirlerin uygulanması firmaya çok büyük bir yük getirmediği gibi, getirisinin daha büyük olacağı düşünülmektedir.

Firma sadece tasarımın yerine monte edileceği aşamada bir kontrol listesi hazırlayarak, tasarımın tüm istekleri ve spesifikasyonlarının uygulanıp uygulanmadığını gözlemleyerek önemli riskleri azaltmış ve ileriki yıllarda ürünlerin bakımı yapılacağı zaman önemli yeniden işleme maliyetlerinden kurtulunmuştur. Çünkü yapılması unutulmuş bir tasarım özelliği hem ürünü riske etmekte hem de yapılan hataların düzeltilmesi için ek maliyetler ortaya koymaktadır.

FMEA' dan elde edilen sonuç sadece ürünle ilgili olmamış üst yönetiminde böyle bir çalışmadan bu şekilde faydaların sağlandığını görmesi, FMEA' nın daha doğrusu hata analizinin firmada bir yönetim felsefesi olarak ele alınmasına neden olmuştur ve FMEA eğitiminin tüm personele verilmesi ve her birimin kendi içinde hata analizleri yapması istenmektedir.

FMEA, önceki tekniklerin hataları ve problemleri bulup ortadan kaldırma anlayışını, hataları veya problemleri henüz oluşmadan giderilmesi anlayışı olarak değiştirmiştir. İşletmelerde yapılan eğitim faaliyetlerin de "sıfır hata" felsefesi üzerinde durulması, "hataları oluşmadan önleyebilme" felsefesinin anlaşılabilir olmasına yardımcı olmuştur.

FMEA uygulaması yalnız bir proje için değil bir sürekli bir gelişim faaliyeti olarak görülmelidir. Bu sayede tüm yapının dinamik olması sağlanacak ve son kullanıcıya ulaşmadan hataların belirlenmesi ve etkilerinin minimum yapılması amacına ulaşılacaktır.

İleriki çalışmalarda tasarım FMEA uygulanırken ekibin daha geniş seçilmesi, tüm birimlerden temsilcilerin olması ve FMEA ile birlikte diğer güvenilirlik analizlerini uygulanmasını hem ürün kalitesi hem de ürün güvenilirliğini artıracak unsurlar olarak göze çarpmaktadır.

KAYNAKÇA

- Akın B.**, (1998), Hata türü ve etkileri analizi (HTEA), Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- AMPER**, (2004), Amper A.Ş. Tanıtım ve Pazarlama Katalogları, İstanbul
- Anderson D.**, (2001), Hazard Analysis In Engineering Design, Louisiana Tech University.
- Atay Ö. S.**, (2002) Ürün Gerçekleştirmede Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Baraçlı H.** , (1998), Sıfır hataya ulaşmada poka-yoke tekniği ve ayakkabı sektöründe uygulama çalışması, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Barkai J.** , (1999), Automatic generation of a diagnostic ekspert systems from failure mode effects analysis (FMEA) information, 1999-01-0060, *SAE Technical Paper Series*, Michigan.
- Boran S.** ,(1996), Hata şekli ve etkileri analizi' nin bulanık küme yaklaşımıyla çözümlenmesi olanağı, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Breiling A.J.** , **Kunz A.M.**, (2002), Critical consideration and improvement of the FMEA, Center of Product Development, *Swiss Fedaral Institute of Technology*, Zurich.
- Carlson W.**, **Carlson C.** , **Vallance G. Ve Taaffe C.**, (2001), Surface vehicle recommended practise.
- Cayman Business Systems**, (2002), Failure mode and effects analysis revision N.980815.
- Dhillon, B. S.** (1999), Design reliability: fundamentals and applications, CRC Press LLC
- Duman E.**, (2001), Hata Türü Ve Etkileri Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- FORD Motor Company**, (1995), Design FMEA Manual.

- Hammett P.**, (1999), Failure mode and effect analysis, Total Quality Management-*University of Michigan*, Michigan
- Kara-Zaitri C.**, (1996), Failure modes effects and criticality analysis, Maintenance Management Concepts and Practise.
- Keser K.** , (1998), Hataların şekillerinin, etkilerinin ve öneminin analizi, *TEMSA Otomotiv Grubu Önce Kalite / Eğitim Notları*, Adana
- Keyserling W.M.**, (2000), IQE 539 notes: failure modes and effects analaysis (FMEA), Industrial and Operations Engineering-*University of Michigan*, Michigan
- MIL—STD 1629A**, (1980), Procedures for performing a failure mode, effects and criticality anaylsis, *US Departmant of Defense*, Washington
- Mohr R.R.** , (2002), Failure modes and analysis, JACOBS Sverdrup.
- Nasa Lewis Research Center**, (2000).
- Özay S.** ,(1999), Ürün geliştirmede toplam kalite yönetim tekniklerinden hata türü ve etkisi analizinin incelenmesi ve bu tekniğin bir otomotiv firmasındaki uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Pentti H.** , **Atte H.** , (2002), Failure mode and effects analysis of software-based automation systems, *STUK-YTO-TR 190*, Helsinki.
- RBDM**, (2000), Risk-based decion-making guidelines, Vol 3. Procedures for assessing risks, chapter 9. Failure modes anf effects analysis .
- Stamatis D.H.**, (1995), Failure mode and effects analysis, ASQC Quality Press.
- Steven K.** , **Ishii K.** , (2000), Scenario-based FMEA: a life cycle cost perspective, DETC2000/RSAFP-14478, 2000 ASME Design Engineering Technical Conferences, Maryland.
- TEMSA Otomotiv Önce Kalite Eğitim Notları** (1998), Adana
- Usuğ C.** ,(2002), Hata türleri ve etkileri analizi (HTEA) ve üretim ve hizmet sektörü uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi* , Marmara Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Vorley G.** , (1999), Failure mode effect analysis, Quality Management & Training Limited.
- Werwega S.** , (2002), QSE-FMEA/APQP solution: trainig manuel, QSE-inc.

Yılmaz A. , (1997), Hata türü ve etki analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Özgür Ömer Aydın, 25.09.1979 tarihinde Niğde’ de doğdu. İlk ve orta öğretimini Niğde’ de tamamladı. 1996 yılında Niğde Anadolu Lisesi’ nden mezun olduktan sonra aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümüne başladı. 2000 yılında Endüstri Mühendisliği bölümünden mezun oldu ve yine 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilimdalı Endüstri Mühendisliği Programına kaydoldu. Yüksek Lisans eğitimi sırasında başladığı Kalite Danışmanlığı işine halen devam etmektedir.

