

57454

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HATA ŞEKLİ VE ETKİLERİ ANALİZİ'NİN  
BULANIK KÜME YAKLAŞIMIYLA  
ÇÖZÜMLENMESİ OLANAĞI

End. Yük. Müh. Semra BORAN

F.B.E. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında  
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halit KASA

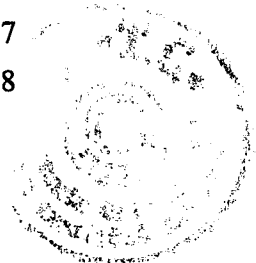
İSTANBUL, 1996  
İ.S. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



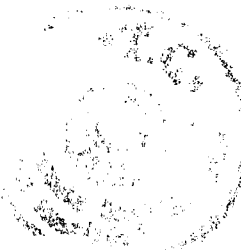
## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	vii
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	viii
<b>TABLO LİSTESİ</b>	ix
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b>	x
<b>TEŞEKKÜR</b>	xi
<b>ÖZET</b>	xii
<b>ABSTRACT</b>	xiii
<b>BÖLÜM 1. GİRİŞ</b>	1-3
<b>BÖLÜM 2. HATA KAVRAMI</b>	4-25
2.1. Değişkenlik ve Hata	4
2.1.1. Değişkenlik Kuramı	5
2.2. Hata ve Hata Sınıflandırması	8
2.2.1. Meydana Geldiği Aşamaya Göre Hata Sınıflandırması	9
2.2.2. Sonuçlarına Göre Hata Sınıflandırması	9
2.2.3. Zamana Göre Hata Sınıflandırması	11
2.2.4. Nedenlerine Göre Hata Sınıflandırması	13
2.3. Tasarım Hataları	14
2.4. Üretim Hatası	16
2.4.1. İnsan Hataları	16
2.4.2. Makina Hataları	18
2.4.3. Malzeme Hataları	20
2.4.4. Yöntem Hataları	20
2.4.5. Ölçme Hataları	21
2.4.6. Alet Hataları	22
2.5. Karar Vermede Hata	22
2.6. Örnekleme Hataları	23
2.7. Yazılım Hataları	24
2.8. Hata Maliyetleri	24
<b>BÖLÜM 3. HATA ÖNLEME OLANAKLARI</b>	26-40
3.1. Hata Kontrolü	26
3.1.1. Kabul Örnekleme	26
3.1.2. Kalite Kontrol Diyagramları	26
3.1.3. Araştırma-Geliştirme	27
3.2. Kalite Denetleme	28



	<u>Sayfa No</u>
3.3. Hata Ölçüm ve Modellemesi	29
3.3.1. Hata Tanısı	29
3.3.2. Hata Modelleri	30
3.3.2.1. Deterministik Hata Modelleri	31
3.3.2.2. Stokastik Hata Modelleri	32
3.3.3. Hata Yayılımı	32
3.3.4. Güvenilirlik	34
3.3.4.1. Markov Analizi	35
3.3.5. Hata Dağılımları	35
3.4. Hata Önleme Teknikleri	36
3.4.1. Olay Ağacı Analizi	37
3.4.2. Hata Ağacı Analizi	37
3.4.4. Poka-Yoke	39
<b><i>BÖLÜM 4. HATA ŞEKLİ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HŞEA)</i></b>	<b>41-95</b>
4.1. Yöntemin Tanımı	41
4.2. HŞEA Çeşitleri	45
4.2.1. Tasarım-HŞEA	45
4.2.2. Proses-HŞEA	47
4.3. Hata Şekli, Etkileri ve Kritiklik Analizi (HŞEKA)	48
4.4. HŞEA/HŞEKA Uygulama Süreci	48
4.4.1. Hazırlık Çalışmaları	52
4.4.2. Sistemin Analizi	54
4.4.2.1. Olası Hata Şekli	58
4.4.2.2. Olası Hata Etkisi	59
4.4.2.3. Olası Hata Nedeni	61
4.4.2.4. Hata Bulma	62
4.4.3. Değerlendirme	63
4.4.3.1. Hata Gözükmesi	63
4.4.3.2. Hata Önemliliği	65
4.4.3.3. Hata Bulma	66
4.4.3.4. Değerlendirmede Niceliksel Yaklaşım	66
4.4.3.4.1. Kritiklik Sayısının Hesabı	67
4.4.3.4.2. Kritiklik Matrisi	69



	<u>Sayfa No</u>
4.4.3.5. Risk Öncelik Sayısı	70
4.4.3.5.1. Hata Gözükme Değer Verilmesi	71
4.4.3.5.2. Hata Önemlilik Değer Verilmesi	71
4.4.3.5.3. Hata Bulma Değer Verilmesi	72
4.4.3.5.4. Risk Öncelik Sayısının Hesabı	74
4.4.3.5.5. Risk Öncelik Toplamı	78
4.4.3.6. Risk Öncelik Sayısını Değerlendirme	78
4.4.3.7. Düzeltici Önlemler	81
4.4.5. İzleme-Uygulama	82
4.4.6. Doğrulama	82
4.5. HŞEA/HŞEKA'nın Tablo İle Gösterilmesinde Ortaya Çıkan Sorunlar	83
4.6. HŞEA/HŞEKA'nın Matris Şekli	84
4.7. HŞEA/HŞEKA Kullanım Alanları	86
4.8. HŞEA/HŞEKA'da Bilgisayar Kullanma Olanakları	86
4.9. HŞEA/HŞEKA'nın Sağladığı Yararlar	89
4.10. HŞEA/HŞEKA Kullanımında Karşılaşılan Güçlükler	92
<b><i>BÖLÜM 5. HATA ŞEKLİ VE ETKİLERİ ANALİZİ'NDE BULANIK KÜME</i></b>	
<b><i>KURAMININ UYGULANMASI OLANAĞI</i></b>	
5.1. Bulanık Küme Kuramı	96-119
5.1.1. Bulanık Küme Esasları	96
5.1.2. Bulanık Kümelerde Temel Küme İşlemleri	99
5.1.3. Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemler	100
5.1.4. Dilsel Değişkenler ve Bulanık Küme Analizi	101
5.1.5. Risk Analizi Alanında Bulanık Küme Çalışmaları	103
5.1.6. Bulanık Küme Kuramında Karşılaşılan Sorunlar	104
5.2. HŞEA İçin Bulanık Kümeler Kuramı ile Bir Model Önerisi	104
5.2.1. Çalışmanın Amacı	104
5.2.2. Çalışmanın Gerekçeleri	104
5.2.3. Çalışmanın Tanıtılması	105
5.2.4. Geliştirilen Model	106
5.2.4.1. Sistem Analizi	107
5.2.4.2. Girdilerin Belirlenmesi	107
5.2.4.2.1. Hatanın Gözükebilirliği	107
5.2.4.2.2. Hata Önemlilik	109
5.2.4.2.3. Hata Bulunabilirliği	109



	<u>Sayfa no</u>
5.2.4.3. Sayısal Çözümleme	110
5.2.4.3.1. Hata Gözükebilirliğinin Hesabı	110
5.2.4.3.2. RÖS'lerin Hesaplanması ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi	112
5.2.5. Modelin Uygulanması	115
<b>BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	120
<b>KAYNAKLAR</b>	125
<b>EKLER</b>	
<b>EK-1 HŞEA/HŞEKA Tablo Örnekleri</b>	131
<b>EK-2 Bilgisayar Programı</b>	138
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	



## SEMBOL LİSTESİ

B	: Bulma
G	: Gözükme
Ö	: Önemlilik
Q	: Güvenilirsizlik Faktörü
R	: Birimin Hata Şekli Güvenilirliği
X	: Evrensel Küme
n	: Birim Hata Şekli Sayısı
t	: İşleme Süresi
$C_{ind}$	: C Kümesinin Ayıklama İşlemi Sonucundaki İndirgenmiş Destek Kümesi
$C_m$	: Hata Şekli Kritiklik Sayısı
$C_r$	: Birim Kritiklik Sayısı
$C_s$	: C Bulanık Kümesine Ait Sıralı Destek Kümesi
$H_o$	: Değerlendirme Kümesi
$K_A$	: İşlemsel Düzeltme Katsayısı
$K_E$	: Çevresel Düzeltme Katsayısı
$P_1$	: Hata Nedeni Ortaya Çıkma Olasılığı
$P_{2/1}$	: Hata Şekli Koşullu Olasılığı
$R_i$	: i. Hata Nedeninin RÖS'ye Göre Bulanık Küme
$R_{im}$	: i. Hata Nedenine Ait Maksimizasyon Kümesi
$R_{io}$	: i. Hata Nedenine Ait Birleşik Küme
sup	: Supremum
SuppA	: A Bulanık Kümesine Ait Destek kümesi
$\alpha$	: Hata Şekli Olasılığı
$\beta$	: Hata Etkisi Olasılığı
$\lambda_p$	: Parça Hata Oranı
$\mu_A(x)$	: x'in A Kümesine Üyelik Derecesi
O	: Bulanık Aritmetik İşlem
$\cup$	: Birleşim
$\cap$	: Kesişim

## ***ŞEKİL LİSTESİ***

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 4.1. HŞEA Akış Diyagramı (Wei, 1991)	51
Şekil 4.2. Kritiklik Matrisi (MIL-STD 1629A, 1984)	70
Şekil 4.3. Hata Değerlendirme Histogramı	79
Şekil 4.4. HŞEA-Maliyet İlişkisi (Prasad,1990)	91
Şekil 5.1. Boy Uzunlukları İle İlgili Bulanık Kümeler	103
Şekil E.2.1. Bilgisayar Programı Akış Şeması	138



## ***TABLO LİSTESİ***

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Ürün Özellikleri (Starkley, 1988)	15
Tablo 4.1. Örnek HŞEA/HŞEKA Tablosu	52
Tablo 4.2. HŞEA ile Birlikte Kullanılan Teknikler (Dale ve Shaw, 1990)	57
Tablo 4.3. Hata Gözükme Değer Verilmesi	71
Tablo 4.4. Hata Önemlilik Değer Verilmesi	72
Tablo 4.5. Hata Bulma Değer Verilmesi	73
Tablo 4.6. HŞEA/HŞEKA Tanıtıcı Örnek	77
Tablo 4.7. Örneğin Risk Öncelik Sayısı Sıralanışı	78
Tablo 4.8. HŞEA/HŞEKA'nın Matris Gösterimi	85
Tablo 5.1. Sistem Analizi Sonuçları	108
Tablo 5.2. Örnekteki Hata Nedenlerinin Olabilirlik ve Hataların, Hata Nedenlerine Göre Bağımlılık Değerleri	115
Tablo 5.3. Örnekteki Hata Nedenlerinin Önem ve Bulunabilirlik Değerleri	116
Tablo E.1.1. HŞEA Tablosu (MIL-STD 1629A)	131
Tablo E.1.2. Kritiklik Analizi Tablosu (MIL-STD 1629A)	132
Tablo E.1.3. AMDEC (HŞEKA) Tablosu (Renault Şirketi)	133
Tablo E.1.4. Tasarım/Proses-HŞEA Örnek Tablo	134
Tablo E.1.5. Otomotiv Endüstrisi İçin Önerilen Standard Tasarım-HŞEA Tablosu	135
Tablo E.1.6. Otomotiv endüstrisi İçin Önerilen Standard Proses-HŞEA Tablosu	136
Tablo E.1.7. Yaygın Olarak Kullanılan HŞEA Tablosu	137



## ***KISALTMALAR LİSTESİ***

AAOS	: Arızalar Arası Ortalama Süre
AMDEC	: Hata Şekli, Etkileri ve Kritiklik Analizi
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
HŞEA	: Hata Şekli ve Etkileri Analizi
HŞEKA	: Hata Şekli, Etkileri ve Kritiklik Analizi
HŞK	: Hata Şekli Kritikliği
İPK	: İstatistiksel Proses Kontrol
KA	: Kritiklik Analizi
KS	: Kritiklik Sayısı
max	: Maksimum
min	: Minimum
MIL-STD	: Askeri Standard
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
QFD	: Pazar Gereksinimleri Doğrultusunda Tasarım
RAM	: Güvenilirlik- Kullanışlılık- Bakım Yapılabilirlik
RÖS	: Risk Öncelik Sayısı
RÖT	: Risk Öncelik Toplamı
TKK	: Toplam Kalite Kontrol
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi



## **TEŞEKKÜR**

Bana, Hata Şekli ve Etkileri Analizi gibi g¼ncel bir konuda çalışma olanağı veren, tez s¼resince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Hocam Sayın Prof. Dr. Halit KASA'ya teŐekk¼r ederim. Sıkıntılarımı y¼ks¼nmeden paylaŐan ve beni s¼rekli destekleyen t¼m aileme, yardımlarından dolayı Kocaeli Üniversitesi End¼stri M¼hendisliđi B¼l¼m¼ oğretim elemanlarından Oğr. G¼r. Kasım BAYNAL'a sonsuz teŐekk¼rler...



## ÖZET

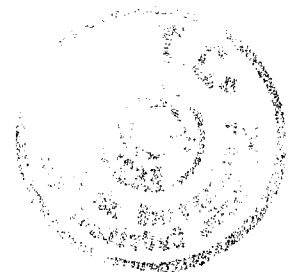
İşletmelerin, sıkı rekabet koşullarında varlıklarını sürdürebilme koşullarından en önemlisi "sıfır hata" hedefine ulaşmaktır. Bu da onları hata önleme teknikleri kullanmaya zorlamaktadır. Hataları müşteriye ulaşmadan önce belirleyip, ortadan kaldırarak kusursuzluğu ulaşmayı amaçlayan hata önleme tekniklerinin en önemlilerinden birisi Hata Şekli ve Etkileri Analizi/Hata Şekli Etkileri ve Kritiklik analizi (HŞEA/HŞEKA) yöntemidir. Bu yöntemin son yıllarda oldukça geniş uygulama alanı bulmakta olduğu gözlenmektedir. Yöntemin, uygulama alanlarının hızla artmasının en önemli nedeni diğer teknikler gibi sadece hatayı ortaya çıkarmakla yetinmemesi, hataların ortaya çıkmasını önleyecek önlemlere de yer veriyor olmasıdır.

Bu çalışmanın iki amacı vardır. Birincisi, HŞEA/HŞEKA yönteminin yararları, uygulamada karşılaşılan zorlukları ve uygulama alanlarının ayrıntılı incelenmesidir. Burada, uygulamadaki farklılıklara değinilerek birçok olumsuzlukları giderecek bir uygulama şekli oluşturulmaya çalışılmıştır. İkinci amaç, risk değerlendirme için gerekli olan sayısal veriler mevcut olmadığında, kişilerin yargılarına başvurulması durumunda ortaya çıkan bir olumsuzluk ile ilgilidir. Bu olumsuzluk elde edilen bilgilerin sayısal değil, bir dile ait sözcükler ve deyimler ile ifade edilen "bulanık bilgiler" olmasından kaynaklanmaktadır. Bu ifadeler kişilere göre farklılık göstermekte ve "büyük", "orta", "küçük", "az", "yüksek" gibi ifade edilmektedir. Bu yöntemde de hata risklerini değerlendirmede sayısal verilerin söz konusu olmadığı durumlarda bu ifadeler kullanılmaktadır. Ancak, bunlar belirsizlikten çok kötü tanımlanmış ifadeler olmaları nedeniyle kesin olmama durumunu oluşturur. Bu olumsuz durumu gidermek için bulanık kümeler yaklaşımı ile çözüm aranmıştır. Bir model geliştirilerek, olası hata nedenlerinin önceliklerinin gösteren Risk Öncelik Sayıları belirlenmektedir. Hata nedenlerinin, en büyük Risk Öncelik Sayısına sahip olandan, en küçüğü doğru sıralaması yapılmaktadır. Buna göre öncelikle ele alınması gereken hata nedeni belirlenmiş olmaktadır. Bu amaçla bir bilgisayar programı da BASIC programlama dilinde hazırlanmıştır. Bulanık küme yaklaşımının, klasik uygulama şekli ile aynı sonuçları verdiği bir uygulama örneği üzerinde gösterilmiştir.

## ABSTRACT

It has been a must for companies under hard competitive environment to reach the "zero failure" target. This in turn leads them to adopt failure preventive methods. Failure Mode and Effects Analysis/Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMEA/FMECA) is the primary method which targets the detection and prevention of failures so as to provide defect-free operation before marketing stage. Apparently this method is gaining ground in recent years. The reason why this method is widely used lies in the fact that it not only detects failures but also takes preventive actions to avoid failures.

This study has two purposes. The first one is to work out in details the advantages of FMEA / FMECA method, the problems encountered during implementation and the areas of implementation. The study aimed to bring about a form of implementation that will be free of adversities. The secondary purpose is related to the problems which resulted from personal judgements in the absence of numeric data. Said problems are the result of fuzzy knowledge described by words and expression of certain language instead of numeric data. The expressions vary from one person to another and are expressed with words namely; "big", "little", "small", "high". In this method afore said words are used to evaluate failure risks in cases where there are no numeric data. The words, however, represent badly defined statements rather than an uncertainty. Fuzzy set theory has been used to find a solution for this difficulty. Risk Priority Numbers are determined which display the priority of potential failure by developing a model. Failure causes are sorted from the one that has the biggest Risk Priority Number, to the one with smallest. Thus, the failure causes that have to be dealt urgently are determined. To this end a software application has been prepared in BASIC programming language. Fuzzy set theory has been proved to yield the some result as the traditional approach in a hypothetical experiment.



## 1.0. GİRİŞ

Son yıllardaki teknolojik ve ekonomik gelişmeler, dünya üzerinde ekonomik bütünleşmeyi öngören küreselleşmeyi ön plana çıkarmıştır. Küreselleşmenin yabancı sermayeye geniş olanaklar tanınması, güçlü kuruluşlara, ulusal sınırların dışına taşarak, diğer ulusların pazarlarına kolayca erişme fırsatı vermesi, rekabetin artışına yol açmaktadır. Bu durumda, mal veya hizmet üreten kuruluşların, iç ve dış pazarlardaki paylarının azalmasını veya yok olmalarını önlemek için rekabette güçlü olmaları gerekmektedir. Bu da ancak kaliteli ürün veya hizmet üretilmesi ile gerçekleşecektir.

Kalite'nin klasik tanımını "standartlara uygunluk" şeklindedir. Ancak bugün bu tanım yeterli olmamakta ve kalite, istenene yani "müşteri isteklerine uygunluk" olarak düşünülmektedir. Bu yeni kalite kavramında sadece "standartlara uygunluk" değil, aynı zamanda tasarım kalitesinde de sürekli bir gelişme arayışı söz konusudur. Crosby, kaliteyi "istenene uygunluk" olarak tanımlar. Feigenbaum'a göre kalite "belirli müşteri koşullarına en iyi uyan"dır. Bu koşullar, kullanımla ve satış fiyatı ile ilgilidir. Juran, kaliteyi "kullanıma uygunluk" olarak tanımlar ve kaliteyi, tasarım kalitesi, uygunluk ve bulunabilirlik kalitesi alt başlıklarında inceler (Garvin,1984). Taguchi'ye göre ise bir ürünün kalitesi "sevkiyattan sonra o ürünün toplumda neden olduğu minimum kayıp"tır. Ürünün kalitesi ve üretim maliyeti, ürünün ve bu ürünün üretildiği sürecin mühendislik tasarımları ile belirlenir. Yani kalite üretim aşamasından çok, tasarım aşamasında sağlanır (Roslund, 1989).

Kuruluşların kaliteli ürün ve hizmet üretmeleri için Toplam Kalite Kontrol (TKK) felsefesini benimsemeleri gerekmektedir. Feigenbaum (1983), toplam kalite anlayışını "bir işletmede müşteri taleplerini en ekonomik düzeyde karşılayabilecek üretim ve hizmetin yapılmasına imkan sağlayan ve böylece işletmede yer alan tüm birimlerin kalitenin yaratılması, geliştirilmesi, korunması ve iyileştirilmesine yönelik tüm çabaları bütünleştiren bir sistem" olarak tanımlar. Bu sistem ile geçmişte sadece kuruluşun bir biriminin sorumluluğunda olan kaliteyi sağlama işlevi her düzeye yaygınlaştırılmıştır. Kalitenin, üretimden sonra kontrol yoluyla sağlanması yerine daha tasarımın ilk aşaması olan tasarım düşüncesi aşamalarından başlayarak kalitenin oluşturulması ve yaşatılması amaçlanmıştır. TKK, ürün veya hizmetin kalitesini, bunun sonucu olarak da verimliliği artırarak işletmenin rekabet gücünü yükselten bir unsurdur. TKK'nın hedefi, kuruluşun tüm faaliyetlerinde kaliteyi yükseltmektir. Böylece her aşamada oluşması söz konusu



olan hatalar önlenmiş olur. Hataların önlenmesi ile kayıplar azalır, fire, ıskarta, ikinci kalite ürün, gereksiz stoklar, zaman kayıpları, teslimattaki gecikmeler gibi tüm olumsuzluklar da ortadan kalkar. Dolayısıyla maliyetler düşer ve müşterilerin beklentilerinin tümü karşılanmış olur.

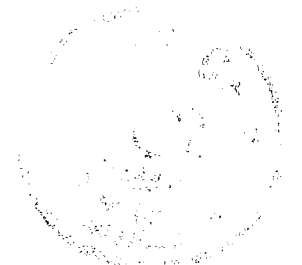
TKK aynı zamanda çağdaş bir yönetim anlayışıdır. Toplam Kalite Yönetimi (TKY) olarak adlandırılan bu yönetim şekli, kalitenin artırılması, maliyetlerin azaltılması, üretkenliğin artırılması ve müşteri tatmininin yükseltilmesi için ürünlerin, yöntemlerin ve hizmetlerin devamlı gelişimini içeren rekabetçi bir strateji olarak geliştirilmiştir. TKY, müşteri ihtiyaç ve isteklerini tatmin etmek için üretim ve hizmet yöntemlerinin, yönetim tekniklerinin, sistem mühendisliği yöntemlerinin kullanımını içerir. Sonuçta, maliyetlerdeki azalma, üretkinlik, pazar payı ve kârlılıktaki artış kaliteyi sürekli geliştiren unsurlar olacaktır. Sürekli gelişme veya iyileşme, "hataları ayıklamak" yerine "hata yapmamak" yaklaşımının uygulanması, ölçüm ve istatistik yöntemlerin kullanılması, grup çalışmalarına yer verilmesiyle sağlanır. Sürekli gelişme gerçekleştirilmediğinde rakipleri yakalamak veya onları geçmek olanaksız olacaktır.

Günümüzde müşteriler satın aldıkları ürünün kalitesine, onun özelliklerini kontrol etmeye gerek duymayacak kadar güvenmek istemektedirler. Kalite Güvencesi, muayene yolu ile değil sistem yoluyla sağlanır. Bu sistemi sağlamaya dönük öneriler ISO 9000 Kalite Güvencesi Standardları'nda yer almaktadır.

Çalışmanın iki amacı vardır. Birincisi, hata önleme tekniklerinden son yıllarda geniş bir uygulama alanı bulduğu gözlenen Hata Şekli ve Etkileri Analizi (HŞEA) yöntemini bilinen şekliyle derlemek diğeri ise bulanık kümeler yardımı ile yeni çözüm olanağı araştırmaktır.

İkinci bölümde, hata kavramı çeşitli yönleriyle ele alınmaktadır. Hata tanımının yanısıra hata çeşitlerinin sınıflandırılması yapılmakta, çeşitli hata durumlarına yer verilmektedir.

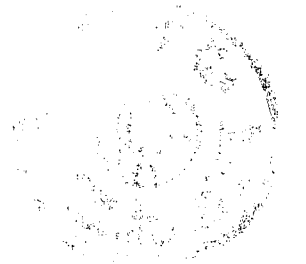
Üçüncü bölümde hataları ortadan kaldırmak için izlenecek adımlar verilmekte, sırasıyla hataların belirlenmesinde kullanılan hata kontrol yöntemleri, belirlenen hataya tanı koyma işlemi, modelleme ve hata önleme yöntem çeşitleri incelenmektedir.



Dördüncü bölüm, çalışmanın amaçlarından biri olan Hata Şekli ve Etkileri Analizi'nin ayrıntılı incelenmesini içerir. Bu analiz yönteminin tanımı, uygulama sürecindeki adımlar, çeşitleri, kullanışlılığı ve uygulamada karşılaşılan güçlükler tartışılmaktadır.

Beşinci bölümde, çalışmanın diğer amacı olan Hata Şekli ve Etkileri Analizi'nin bulanık kümeler kuramı ile sayısallaştırılması çalışmaları yer almaktadır. Bölümün ilk kısmında, bulanık küme kuramının çalışmayla ilgili olan bazı özellikleri, dilsel değişken kavramı açıklanmakta, risk alanında yapılmış çalışmalardan bazıları tanıtılmaktadır. İkinci kısımda, risk sonuçlarını sayısallaştırmak için geliştirilmiş, matematiksel araç olarak bulanık kümeler kuramını kullanan bir model tanıtılmaktadır. Modelin uygulaması verilerinin gerçek hayattan alınmadığı, oluşturulmuş bir örnek üzerinde gösterilmeye çalışılmaktadır. Model ile ilgili bir bilgisayar programı da geliştirilmiştir.

Altıncı ve son bölümde, çalışmanın sonuçları değerlendirilmekte, gerek Hata Şekli ve Etkileri Analiz yöntemi ile ilgili, gerekse bulanık kümeler ile ilgili sorunlara yer verilmekte ve öneriler sunulmaktadır.



## **2.0. HATA KAVRAMI**

### **2.1. Değişkenlik ve Hata**

Yaşamın doğasında değişkenlik vardır. Değişkenliğin var olduğu sistemler, doğal sistemlerin yanısıra insan yapımı sistemler de olabilir. Pekçok durumda değişkenlik söz konusu olduğundan, belirsizlik de kaçınılmaz olacaktır.

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

- Kaynağı belirlenebilen değişkenlik,
- Rasgele değişkenlik

şeklinde iki sınıfta ele alınabilir.

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

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

Genellikle sistemlerdeki değişkenliğin tamamen ortadan kaldırılması istenir, fakat bu çok güç olduğundan, mümkün olduğu kadar en aza indirmek hedeflenir. Hedef, sistemlerde aynı girdilerle, birbiriyle çok farklı olmayan çıktılar üretmektir. Bunu



sağlayabilmek için de değişkenliğin boyutlarını, ölçülerini, nelere hangi koşullarda ne ölçüde bağlı olduğunu belirlemek gerekir.

Sonuçları sadece rasgele değişen bir sistem düzgün veya istatistiksel kontrol altında olan sistemdir. Bu tür sistemlerin çıktılarındaki farklılıkların çok küçük olması, çıktıyı kullanacakların isteklerinin karşılanmasında sorun oluşturmaz. Kaynağı belirlenebilen değişkenliklerin söz konusu olduğu bir sistem ise kontrol altında olmayan sistem olarak tanımlanır. Bu tür sistemlerde büyük değişme miktarları gözüktür ve bir zaman periyodundan sonrakine geçişte değişme miktarları da önceden bilinemez (Nolan ve Provost, 1990). Sistemin istatistiksel kontrol altında olmasını sağlama ve bu durumu devam ettirmede değişkenlik çeşidinin belirlenmesi de çok önemlidir. Rasgele değişkenlik, kaynağı belirlenebilen değişkenlik olarak algılandığında, değişkenlik nedenlerini ortadan kaldırmak için uygulanan yöntemler gereksiz zaman ve para harcanmasına yol açacaktır. Diğer türlü kaynağı belirlenebilen değişken, rasgele değişken olarak tanımlandığında, hatanın kaynağını araştırıp bulma ve ortadan kaldırma fırsatı kaçırılmış olacaktır. Kaynağı belirlenebilen değişkenler çoğu zaman sistemde yapılacak bazı basit değişikliklerle rasgele değişken hale getirilebilir. Bazı durumlarda ise laboratuvar çalışmaları, istatistiksel deney tasarımı gibi yöntemlerin kullanımı gerekebilir.

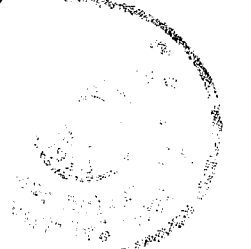
### **2.1.1. Değişkenlik Kuramı**

W. Edward Deming'in (1986) yöneticiler için 14 ilkede topladığı yönetim felsefesinin değişkenliği azaltmada ve ortadan kaldırmada neler ifade ettiği şu şekilde yorumlanabilir (Joiner ve Gaudard, 1990):

1. **Sabit Hedef Oluşturmak:** Bir işletmede görev yapan bütün çalışanların ortak, zamanla değişmeyen, sabit bir hedefi olmalıdır. Zaman içinde hedeflerin değişmesi, örneğin hedef değerinin yükseltilmesi, sistemin zorlanmasına dolayısıyla sistemin sonuçlarında istenmeyen değişmeye yani hataya yol açacaktır.
2. **Yeni Felsefeyi Uyarlamak:** Yeni yönetim felsefesi ile değişkenliğin görüldüğü sistemlerde insan, makina, malzeme gibi değişkenlik kaynaklarını tek tek ele almak yerine, sistemi bir bütün olarak ele alarak sistemin değişkenliğinin, dolayısıyla bu değişkenlik kaynaklarının ortadan kaldırılması hedeflenir.
3. **Denetimlere Güvenmeyi Sona Erdirmek:** Ürün üretildikten sonra son kontrol ile değişmeyi belirlemek yerine, üretim süreci esnasında bunun kaynaklarını belirleyip önleyici önlemler alınmalıdır.

4. **Fiyatlarına Göre Satın Alma Alışkanlığına Son Vermek:** Yöneticiler, tedarikçilerini sadece ucuza satanlardan değil, aynı zamanda güvenilir ve dürüst olanlardan seçmelidir. Sürekli aynı, özellikleri bilinen tedarikçi ile çalışmak üründeki değişkenliği, tasarım aşamasından başlayarak azaltacaktır.
5. **Sürekli Gelişme Sağlamak:** Üretim ve hizmet sistemleri, problemlerin nedenlerinin belirlenmesi ve değişkenliği azaltma yollarının araştırılmasıyla sürekli olarak geliştirilmelidir. Bunun için işletmedeki herkesin planla-uygula-kontrol et-önlem al döngüsünü uygulayabilmesi sağlanmalıdır.
6. **Eğitimi Kurumsallaştırmak:** Çalışanların eğitim almadan birçok yöntemi kullanması sonucu ortaya çıkan değişkenliği azaltmak için sürekli, etkili ve tutarlı eğitim verilmelidir.
7. **Liderlik Kurmak:** Yöneticilerin sistem bilgisi olmayan, çalışanlarının hatasını bulan ve onları azarlayan kişiler olma yerine, değişkenlik kaynaklarını bilen, çalışanlarının daha az çaba ile daha iyi iş yapmalarına yardım eden, uygun faaliyetlerle kişiler arasındaki farkları gidermeye çalışan, çalışanlarını onurlandıran ve işletmenin hedefini belirleyen bir lider olması sağlanmalıdır.
8. **Korkuyu Atmak:** Korku, ürün veya sistemdeki pek çok olumlu değişikliğin kaliteye yansımaları engelleyen kuvvetli bir güçtür. Lowe ve Mc Bean (1989) korku ile ilgili düşüncelerini şu şekilde açıklamaktadırlar:
  - Kişilerin hata yapma korkusu, risk kabul etmemelerine ve yeni fikirler üretmekten kaçınmalarına neden olur.
  - Hata korkusu aşırı bilgi saklanmasına yol açar.
  - Yöneticilerin duydukları diğer korku organizasyondaki her şeyi kontrol altında tutamadıkları ile ilgilidir. Bu durumda yöneticiler prosesi kontrol etmek yerine sürekli kişileri kontrol etmeye çalışacaklardır. Bu da birimlerin optimizasyonunun bozulmasına yol açacaktır.

Bu tür korkular, doğru verilerin elde edilemediği, kişilerin problemlerini, hata ve yanlışlarını doğru olarak raporlamaktan kaçındıkları bir çevreyi oluşturur. Doğru veri olmadan, değişkenliği ölçmek, dolayısıyla azaltmak veya gidermek imkansız olur.
9. **Bölümler Arası Engelleri Kaldırmak:** Kuruluşların bölümleri arasındaki engelleri kaldırıp bir bütün oluşturmaları gerekir. Bu bütünlük bölümlerin ayrı hedef ve amaç yerine ortak bir hedef ve amacı paylaşmaları ile olur.
10. **Çalışanlar İçin Sloganlar, Teşvikler ve Hedefleri Kaldırmak:** İşler, hiçbir iyileştirmenin veya değişikliğin yapılmadığı aynı proses ve yöntemlerle yapılıyorken



sadece sloganlar ve teşvikler ile daha iyi sonuçlar elde etmek beklenemez. Bu durumda sloganlar ve teşvikler sadece morallerin bozulmasına dolayısıyla değişkenliğin artmasına yol açacaktır.

**11. İş Standardlarını ve Amaçlarla Yönetimi Kaldırmak:** İş standardları çalışma koşulları, malzemeler ve yöntemlerin değişebileceğini gözönüne almazlar, işin tamamlama zamanını veya bir saatte yapılan iş miktarının farklı koşullarda, farklı kişiler için aynı olacağını belirtirler. Bu nedenle kullanılmamalıdır.

Amaçlarla yönetim de değişkenliği arttıran bir unsurdur. Bu yönetim şeklinde bir işletmenin bir bölümünün hedefi, işletmenin hedefi olarak alınıp en iyilenmeye çalışıldığında, değişkenlik azalıyor gibi görünmesine rağmen, gerçekte artmaktadır.

**12. İşçiler ile Yönetim ve Mühendisliğin Başarılarından Dolayı Gururlanmalarını Önleyecek Engelleri Kaldırmak:** İşçilerin ustalıklarıyla gururlanmalarını engelleyecek olan kusurlu malzeme, tanımlanmamış veya eksik iş ve muayene talimatları, bozuk makina ve aletlerle günlük planlanmış üretim miktarlarını karşılamaya zorlamaya son verilmelidir. Bu olumsuzluklar çıktıda istenmeyen yön ve boyutta değişime yol açacak ve çalışanların moralini de bozacaktır.

Yönetim ve mühendisliğin çalışmalarını değerlendirmede kullanılan performans değerlendirme sistemi uzun dönemde planlamayı, takım çalışmasını bozup rekabet oluşmasına neden olduğundan değişkenliği arttıran davranışlara destek olur. Bunun için yöneticilerin proses sonunda sonuçları değerlendiren kişiler değil, değişkenliği azaltmak için ilk aşamalardan başlayarak işgücüyü birlikte çalışan lider olmaları gerekir.

**13. Etkin Eğitim ve Kendi Kendini Geliştirme Programı Oluşturmak:** Çalışanları, değişkenlik ve bunu yanında sistem teorisi, bilgi teorisi ve psikoloji gibi doğrudan işleriyle ilgili olmayan konularda bilgilendirerek, gelişmeleri sağlanmalıdır. Bu gelişme sonuçta proste gelişme ve teknolojide ilerlemeyi sağlayacak, çalışanların potansiyelini ve onurunu arttıracaktır.

**14. Çalışanların Tümünün İlkelerin Gerçekleştirilmesinde Yer Almasını Sağlamak:** Organizasyonda yer alan herkesin faaliyetlerinin koordine edilmesiyle, değişkenliğin azalması ve bütün olarak sistemin en iyilenmesi sağlanacaktır.

Bu ilkelerin yöneticiler tarafından iyi anlaşılması, onların performans ve çıktılardaki değişiklikleri kolaylıkla tanımlayıp, yorumlayarak harekete geçmelerini kolaylaştırır. Böylece yöneticilerin etkinlikleri gelişir ve sistemde sürekli iyileşme sağlanır.



## 2.2. Hata ve Hata Sınıflandırması

Hata, orkideler arasında yetişen yaban otuna benzer. Hatanın ortaya çıkışı, yaban otunun yetişmesi gibi bir doğal olaydır. Hatanın tanımı hakkında evrensel bir uyuşma yoktur. Kişilere göre farklı şekillerde tanımlanır. Örneğin, 100000 km'lik kullanımdan sonra patlayan bir araba lastiği şansız araba sürücüsü için bir hata oluyorken, lastik üreticisi için bu bir başarı olabilir.

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

Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO)'nun yapmış olduğu hata tanımları (IEEE STD 729, 1983),

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

Hata ile ilgili yapılan çalışmalar yaklaşımlar açısından,

- Niceliksel yaklaşım,
- Nedensel yaklaşım

olmak üzere iki sınıfta toplanır (Stamatis,1995a).

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

Nedensel yaklaşımda, hata nedenlerini, bunların hata şeklinin ortaya çıkışındaki etkisini belirlemek, ortadan kaldırmak veya enazlamak hedeflenir.

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

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

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

### ***2.2.1. Meydana Geldiği Aşamaya Göre Hata Sınıflandırması***

Meydana geldiği aşamaya göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

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

### ***2.2.2. Sonuçlarına Göre Hata Sınıflandırması***

Sonuçlarına göre hatalarla ilgili farklı sınıflandırmalar yapılabilir. En yaygın olan bir sınıflandırma aşağıdaki gibidir (MIL-STD 1629A,1984):

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

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

- Son hatalar,
  - Aralıklarla meydana gelen hatalar
- şeklinde (Polovko,1968).

*Son hata* durumunda, bir sistem veya ürün artık işlevini yerine getiremez, çalışamaz, işlemez durumdadır. Bu nedenle bu tür hatalar "tamir edilemez hatalar" olarak da adlandırılırlar.

*Aralıklarla meydana gelen hata*, çeşitli nedenlerle zaman dilimi içerisinde farklı zaman noktalarında ortaya çıkan, çeşitli düzeltmelerle tekrar işlevini yapacak hale getirilen ürün, sistem hatasıdır. Hatalı durumu kısa bir süre sürer. "Tamir edilebilir hata" olarak da adlandırılır.

İnsan, makina, malzeme üzerindeki sonuçların *ortaya çıkma anının hızlığına* bağlı olarak da hata sınıflandırması yapılabilir. Buna göre hatalar,

- Hemen ortaya çıkan hatalar,
  - Belirli bir gecikme ile ortaya çıkan hatalar
- şeklinde sınıflandırılabilir.

Hatalı üretilen bir ilacın kullanımında zehirlenme olayı hemen görülürken, hatalı üretilen bir kumaşta renk atma olayı zamanla gözükcektir. Sonucu çabuk ortaya çıkan hatanın düzeltilmesi de çabuk olacaktır.

Hatanın ortaya çıkma sıklığına göre de hata sınıflandırması yapılabilir. Bu sınıflandırma niteliksel olarak yapılabileceği gibi bir olasılık değeri atanarak niceliksel olarak da tanımlanabilir.

*Hata gözükme sıklığına* göre bir sınıflandırma aşağıdaki şekilde verilebilir (MIL-STD 1629A, 1984):

- *Sık sık gözükten hata*, gözükme olasılığı  $> 0.20$  olan hatalardır.
- *Oldukça çok gözükten hata*, gözükme olasılığı  $>0.10$  ve  $< 0.20$  olan hatalardır.
- *Arasıra gözükten hata*, gözükme olasılığı  $>0.01$  ve  $< 0.10$  olan hatalardır.



- *Oldukça az gözüken hata*, gözükme olasılığı  $> 0.001$  ve  $< 0.01$  olan hatalardır.
- *Son derece az gözüken hata*, gözükme olasılığı  $< 0.001$  olan hatalardır.

*Sistemin bir bileşeninin hatasının, diğer bileşenlerin hatası(ları) sonucu ortaya çıkması* durumuna göre hatalar şu şekilde sınıflandırılır (Colobro,1962):

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

### 2.2.3. Zamana Göre Hata Sınıflandırması

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

- Ani hatalar,
- Kademeli olarak meydana gelen hatalar olmak üzere iki çeşittir (Polovko,1968).

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

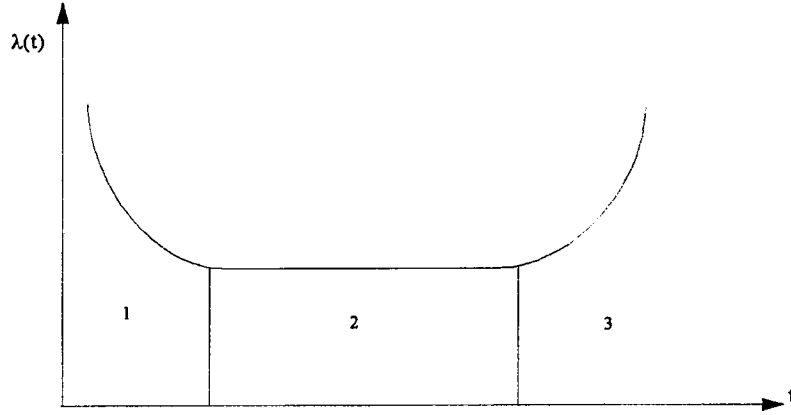
*Kademeli hata*, aşınma ve eskimenin etkilerinin bir araya gelmesiyle zamanla ortaya çıkan hatalardır. Ürün veya sistemin zamanla fonksiyonunu yerine getirme yeteneğinin kaybolması veya çıktının azalması şeklinde kendini gösterir. Kademeli hatalar aynı zamanda, ani hataları etkileyen hatalardır.

Özellikle güvenilirlik analizinde çok kullanılan, zamana göre bir sınıflandırma ise hata oranına göre yapılır. Hata oranı  $\lambda(t)$ , zamanın (t) bir fonksiyonudur ve davranışı banyo küvetine benzer bir eğri ile gösterilir. Bu şekil canlıların; cansız olup da canlıların biyolojik özelliklerini taşıyan makina, malzeme gibi mühendislik araçlarının; ürün, sistem gibi varlıkların ortak özelliklerini yansıtır. Burada hata sınıflandırması,

- 1: İlk hatalar (alışma hataları),
- 2: Rasgele hatalar,



3: Eskime hataları  
şeklindedir.



Şekil 2.1. Banyo Küvet Eğrisi

Başlangıçta gözüken *ilk hatalar*, kısa süren bir zaman aralığında ortaya çıkar. Hata oranları başlangıçta yüksektir fakat zamanla giderek azalır. Bunlar bulunabilir ve tamir edilebilir hatalardır. Özellikle üretim yetersizliğinin söz konusu olduğu durumlarda üretilen hata eğilimli ürünlerde, bu başlangıç hataların yüksek olduğu görülür. Yanlış parça, standartlara uymayan malzeme ve tolerans dışı bileşenlerin kullanılması, tasarımların kötü yapılması gibi nedenler daha ömrün başlangıcında hata oranlarını arttıran unsurlardır. Ani hatalar da bu sınıfta yer alır.

Banyo küvet eğrisinin sabite yakın hata oranlarını gösteren orta kısmı *rasgele hataları* tanımlar. Şans hataları olarak da adlandırılan bu hataların hata oranları çok küçüktür. Bu yüzden bu bölüm faydalı ömür olarak da adlandırılır. Bu hatalar, ele alınan donanım veya sisteme gereğinden fazla yüklenilmesi ile oluşur. Bu sınıflandırma içinde yer alan hatalar tamir edilebilir ve ani hatalar olarak da nitelendirilebilir.

Banyo küvet eğrisinin sağ tarafında yer alan son zaman periyodunda ortaya çıkan hatalar *eskime hataları* olarak tanımlanır. Bu hataların, hata oranları sürekli artış gösterir. Bir sistemin ve birimin kalitesi ne kadar iyi olursa olsun zamanla eskime kaçınılmazdır. Kullanım ve saklama esnasında metallerde, plastiklerde ve benzeri malzemelerin özelliklerinde, diğer birimlerle etkileşimini, koordinasyonunu bozan değişimler gözüktür. Bu tür değişimler, sonuçta imalat kalitesinde, kullanım şartlarında ve prosesin eskime miktarında değişimlere neden olur (Gertsbakh ve Kordonsky, 1969). Bu durumda



eskime hatalarının paslanma, gevrekleşme, yorgunluktan dolayı çatlama gibi birikimli etkiler sonucu ortaya çıkan hatalar olarak tanımlanabilir. Kademeli ve tamir edilemez hatalar da bu sınıfta yer alır.

#### **2.2.4. Nedenlerine Göre Hata Sınıflandırması**

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

- İnsangücünden kaynaklanan hatalar,
- Malzemedan kaynaklanan hatalar,
- Makinadan kaynaklanan hatalar,
- Yöntemden kaynaklanan hatalar,
- Ölçme yöntemlerinden kaynaklanan hatalar,
- Yönetimden kaynaklanan hatalar.

Hataların en önemli kaynağı insandır. Birçok neden sonucu insan hatalı davranır. İnsan hatalarının nedenlerinin belirlenmesi makine ve malzemeye göre daha zordur. Bunun nedeni ise insanın psiko-sosyal bir varlık olmasıdır. Psikolojik, fizyolojik ve sosyal faktörler insanların işleme, muayene ve test etme gibi çeşitli üretim aşamalarında hatalı olmasına neden olacaktır (Lewis,1987) .

Malzeme ve makina hataları güvenilirlik açısından incelendiğinde, genelde her ikisinde de işleme esnasındaki zorlamanın dayanıklılığı veya direnci aştığında, olumsuz çevre koşulları ve eskime söz konusu olduğunda ortaya çıktığı görülür (O'Connor,1986).

Yöntemden kaynaklanan hatalar, yanlış yöntemin kullanılması, değişikliklerin uygulanamaması, yapılan değişikliklerden haberdar olmadan yöntemin kullanılması gibi çeşitli nedenler sonucu ortaya çıkar (Oakland, 1988).

Yönetimden kaynaklanan hatalar, yöneticilerin bazı değişiklikleri kabul etmede zorlanmaları, yanlış kararlar vermeleri veya karar vermede gecikmeleri gibi nedenlere bağlı olarak gözükabilir.

Hata sınıflandırmaları arasında kesin sınırlar yoktur. Bir hata birden fazla, farklı hata sınıfında yer alabilir.

### **2.3. Tasarım Hataları**

Tasarım bir fonksiyonu yerine getirmek için yeni bir fiziksel büyüklüğü, organizasyonu veya formu gösteren fiziksel elemanların türetilme (icat edilme) işlevidir (Beakley, 1974). Tasarım kalitesi, "sözverilmiş kalite" kavramıyla yani müşteriye söz verilen kalitenin gerçekleştirilme derecesiyle ilgilidir. Tasarım kalitesi çoğunlukla, ağırlık, hacim, dayanıklılık gibi fiziksel ölçüler ile tanımlanır. Bunun yanı sıra estetik, güzellik gibi subjektif değerler de tasarım kalitesini belirlemede kullanılan özelliklerdir.

Müşterinin gelecekteki beklentilerinin belirlenip bunların eksiksiz ve ekonomik şekilde karşılanması Toplam Kalite Yönetiminin esasını oluşturmaktadır. Bu isteğin gerçekleşmesi için bazı yöntemler geliştirilmiş bulunmaktadır. Bunlardan en bilineni "Pazar Gereksinimleri Doğrultusunda Tasarım-Quality Function Deployment (QFD)"dir. QFD; müşterinin tam olarak memnun edilebilmesi için beklentilerinin ürüne ve üretimin her aşamasında kalite güvencesini sağlayacak şekilde tasarıma aktarılması demektir (Akao,1990). Daha genel olarak QFD, kalite işlevliğini geliştirerek kalite geliştirme şeklinde tanımlanır. QFD sayesinde hata nedenleri önceden belirlenir; böylece hataların tekrarı da önlenmiş olur.

Bir ürünün sahip olması gereken pek çok özellik vardır. Bir ürünün çoğu zaman tablo 2.1'de gösterilen bu özelliklerden bir veya birkaçına sahip olması istenecektir. Tasarım aşamasında bu istenen özelliklerin gözönüne alınarak ürüne yansıtılması tasarım hatalarını önleyecektir.

Bir ürünün sahip olması gereken bu özellikleri daha genel olarak üç sınıfta toplanabilir (Kempster, 1984):

- Fonksiyon,
- Yapı ,
- Görünüş.

*Fonksiyon* ya da işlev, bir nesnenin yerine getirmesi istenen görevidir. Bir nesnenin oluşturulması ve kullanımındaki amaç bir gereksinimi karşılamaktır.



Tablo 2.1. Ürün Özellikleri (Starkley, 1988).

ÖZELLİKLER	İLGİLİ FAKTÖRLER
Görünüş	Şekil, büyüklük, renk, dokuma yapısı.
Kapasite	Büyüklük, güç, hareket, tertip
Maliyet	Başlangıç, kullanım, bakım, değiştirme
Gelişme	Performans, güvenilirlik, emniyet, ağırlık
Sağlamlık	İncitme, kötü kullanım, kaza, çürüme, nem
Değiştirilebilirlik	Hızlılık, doğruluk, çoklu rol, modüler
Ömür	İlk hat, yedek
Bakım kolaylığı	Sürekli, düzenli, arasıra, hiç bir suretle
Performans	Güç, hız, basınç, enerji
Taşınabilirlik	Kaldırma, taşıma, yöneltme
Güvenilirlik	Tekrar edilebilirlik
Emniyet	Elektrik, mekanik, kimyasal, gürültü
Basitlik, kolaylık	Teknoloji, imalat, bakım, kullanım
Kullanışlılık	Doğal durumunda, uzak
Ağırlık	Miktar, dağıtım

Tasarımda ilk adım ihtiyacı tanımlamak olduğundan, nesnenin tasarımında da ilk olarak kullanım amacı yani fonksiyonu ele alınır. Ancak ürün karmaşık bir yapıya sahip oldukça kullanıcılar onların fonksiyonlarını değerlendirmekte güçlük çekerler. Bir ürünün fonksiyonu, esas fonksiyon ve ikinci dereceden fonksiyon olmak üzere iki çeşittir. Esas fonksiyon ürünün kesin görevini yani var olması nedenini gösteriyorken, ikinci dereceden fonksiyon ürünün var olması ile sağlayacağı diğer fonksiyonları tanımlar. Sistem veya ürün fonksiyonunu yerine getiremiyorsa veya eksik yerine getiriyorsa hatalı olduğu söylenir.

*Yapı*, ürünün dayanıklılığı, büyüklüğü, karmaşık veya basit oluşu gibi fiziksel özellikleriyle ilgilidir. Ürünün istenen yapıda olması fonksiyon ve bakım özelliklerinin yanısıra, uygun imalat yöntemi ve donanımla üretilmiş olması, üretim hacminin büyüklüğü ve hızı gibi değerlere bağlı olmaktadır.

*Görünüş*, bir ürünün renk, dokuma, şekil, büyüklük gibi estetikle ilgili özellikleri içerir. Bugün tasarımcılar, müşterilerin yaşam koşullarının iyileşmesiyle artan ürün estetik



isteklerine, fonksiyonellikleri kadar önem vermek durumundadırlar. Estetik, nesnenin biçim, bütünlük, uyumluluk, oran, kontrast, stil gibi özelliklerini içerir. Güzellik, güzellik anlayışındaki değerler ve şekilsel güzellik olarak tanımlanan estetikle ilgili sorunlar tek bir sonuca ulaşılan matematiksel problemlerden farklı bir şekilde yorumlanır. Kişilerin estetik dolayısıyla güzellik anlayışı, sosyal ve kültürel yaşam tarzlarının etkisiyle farklılık göstereceğinden tek bir formül söz konusu olamayacak dolayısıyla kolaylıkla ölçülemeyecek ve tanımlanamayacaktır.

Sonuç olarak tasarım hataları, ürün, tasarım amaçlarını, performans isteklerini, müşteri beklentilerini karşılayamadığı veya eksik karşıladığında ortaya çıkan hatalar olarak tanımlanabilir. Örneğin, istenen renk tonunu tutturamayan, elemanları birbiriyle uyum gösteremeyen, yine elemanları arasındaki orantısızlığın sözkonusu olduğu tasarımlarda ürünler hatalı olarak tanımlanır.

Tasarım hatası müşteri, isteklerinin tam olarak karşılanamaması durumunun yanı sıra, işlemsel zorlanma, tasarımı dayanaklılığını aştığı zaman da gözükürler. Bu durumda hatalar, nem, sıcaklık gibi çevre koşullarının önceden belirlenen değerler veya yazılı olarak hazırlanmış kullanım koşulları dışında kullanılmasıyla ortaya çıkar.

#### **2.4. Üretim Hataları**

Müşteri isteklerine göre tasarım aşamasında öngörülen ürün özelliklerinin, üretim esnasında ürüne yansıtılması gerekir. Ancak tasarımla öngörülen özelliklerin üretim esnasında gerçekleştirilememesi üretim hatasına neden olur. Üretim hatası, üretim sürecinin belirlenen hedeflerini karşılayamaması durumudur. Üretim hataları insan, makina, malzeme ve yöntem gibi üretim faktörlerinin sahip olması gereken özelliklerinden sapmaların üretime yansması sonucu ortaya çıkar. Hatasız üretim, öngörülen özellikleri gerçekleştirme ve "ilk seferde doğruyu yapma" ile gerçekleşir.

##### **2.4.1 İnsan Hataları**

İnsan hatası, insanlık tarihi kadar eski bir kavramdır. İnsanların ilk araç ve gereçleri üretmeye başlamalarıyla birlikte insan hataları, dolayısıyla üretim hataları ortaya çıkmaya başlamıştır. İnsan hataları kısaca öngörülen performanstan sapma olarak tanımlanabilir.

Sistemlerdeki en önemli hata nedeni insandır. Bu ifadeyi doğrulayan bazı istatistiksel bilgiler aşağıda verilmektedir (Dhillon, 1988):

- Bir işletmede üretim hatalarının %82'sinin,
- Elektronik cihazlardaki hataların %50-70'inin,
- Donanım hatalarının en azından %20-30'unun,
- Bir araştırma birimindeki dokuz Amerikan füze sistemiyle ilgili yapılan araştırmada sistem hatalarının %20-53'ünün insandan kaynaklandığı belirtilmektedir.
- Ürünlerdeki her beş kusurludan birinin muayenecinin kontrolünden kaçtığı bildirilmektedir.

Kasa (1990), sistem içersinde insan faktörünün önemini "faktörlerin etkili bir sistem içinde kaliteyi üretmeye, geliştirmeye olanak verecek bir yaklaşımla gözetilmesi gerekir. Her ne kadar bu koşullardan herhangi birinin yetersiz olması sonucu olumsuz etkilerse de *insan* faktörünün özel bir öneme sahip olduğu açıktır" şeklinde vurgulamaktadır. Ve insan faktörü ile ilgili yaptığı sınıflandırmada, *insanı*,

- üreticidir ve bu yönüyle
  - sistemi kurandır,
  - politikaları belirleyen ve/veya uygulayandır,
  - planlayandır,
  - donanımı seçen ve/veya yönetendir,
  - denetleyen ve/veya karar verendir,

şeklinde tanımlar.

İnsan hataları,

- İstenen görevi yerine getirememe,
- İstenen görevi yanlış olarak yerine getirme,
- İstenen görevi yanlış sırada yerine getirme,
- İstenmeyen görevi yapma

sonucu ortaya çıkar (Ireson, 1966).

Ireson (1966), insanların üretimde aldıkları rollere göre hata sınıflandırmasını ise şu şekilde yapmaktadır:

- ***İnsan-mühendislik tasarım hatası***, teçhizatın, bir operatör hatasını ortaya çıkaracak şekilde tasarımının kötü yapılmasıdır.

- **İmalat hatası**, mühendislik talimatlarına göre teçhizat oluşturma esnasında yapılan örneğin yanlış malzeme kullanımı, kötü lehimleme gibi hatalardır.
- **Muayene hatası**, teçhizat tolerans dışındaysa kabul etme, tolerans içindeyse red etme hatasıdır.
- **Donanım/bakım hatası**, mühendislik talimatlarına göre tesisin kurulması veya bakımının yapılmasındaki hatalardır. Örneğin, yanlış yere ters lehim yapma gibi.
- **İşleme hatası**, prosedüre göre teçhizatı işleme esnasında ortaya çıkan hatalardır. Örneğin, prosedürde yer alan istenen adımı yapmama, gereksiz ilave adım yapma, sıranın dışına çıkma hataları verilebilir.
- **Elle yapılan işlem hatası**, tanımlanan isteklere göre el aletlerini taşıma, saklama veya iş yapmada hatalardır. Bu tür hatalar düşürme, çarpma, çarpmayla kırma gibi çeşitlenebilir.

İnsan hataları, çeşitli nedenler sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenleri belirlemek makina, malzeme, yöntem gibi diğer üretim faktörlerine göre daha zordur. Çünkü insan psikolojik ve fizyolojik özelliklere sahip bir varlıktır.

İnsan performansını etkileyen faktörler dört ana sınıfta toplanabilir (Özkan, 1992):

- İş akışı, çalışma yeri tasarımı, çalışma süresi gibi *işle ilgili faktörler*.
- *Çevre ile ilgili performansı etkileyen faktörler*:
  - Çevre temizliği, aydınlatma, toz, radyasyon gibi *fiziksel çevre* ile ilgili faktörler,
  - Aile, ast-üst ilişkileri, çalışanlar arası ilişkiler gibi *sosyal çevre* ile ilgili faktörler,
  - Organizasyon yapısı, politikası gibi *organizasyonel çevre* ile ilgili faktörler,
  - Eğitim, tecrübe, beceri, zeka, fiziksel yapı, yaş, cinsiyet gibi *kişisel* performansı etkileyen faktörler.
- Yorgunluk, motivasyon, işe ilgi, monotonluk, işe yatkınlık gibi çalışanların performansını etkileyen *psikolojik-fizyolojik* faktörler.

#### 2.4.2. Makina Hataları

Bir makina, kendisinden beklenen performansı gösteremiyor veya eksik gösteriyorsa hatalı olarak tanımlanır. Makina hatalarının nedenleri çoğunlukla açık değildir. Makinanın ilk kullanılmaya başladığı anda görülen hatalar, kullananların dikkatsizliği veya kötü kullanımından çok, kötü tasarlanmasından dolayıdır. Kötü tasarım, makinayı



oluşturan parçaların uyuşmazlığı şeklinde gözükür. Ancak makina hataları genellikle yanlış kullanma veya eskime sonucu ortaya çıkar.

Makina hataları,

- Teknolojik değişiklikten dolayı oluşan hatalar,
- Uygunsuz kulanımdan oluşan hatalar,
- Yapısal değişiklikten oluşan hatalar

şeklinde üç sınıfta toplanabilir (Gertsbakh and Kordonsky, 1969) .

*Teknolojik değişiklikten doğan hatalar*, makina için seçilen teknolojik imalat sürecinin bozulması sonucu olarak ortaya çıkarlar. Ayrıca makinanın hatalı tasarlanmış olması da teknolojik hataya yol açar. Bilgisayar donanımında ortaya çıkan hatalar da teknolojik hatalar olarak tanımlanabilir ve bu hatalar bilgisayar sistemlerinin enstrümanlarının fonksiyonlarındaki bozulmalar şeklinde gözükürler.

*Uygunsuz kulanımdan doğan hatalar*, her makina için geliştirilmiş uyulması gereken sıcaklık, titreşim sıklığı değerleri gibi kısıtlar ve bakımla ilgili kurallar vardır. Bu kurallara uyulmaması erken oluşan hatalara yol açar ve aynı zamanda makinanın eskime süreci de hızlandırılmış olur.

Makinanın uygunsuz kullanım durumları,

- Üretim gereksinimine uygun olmayan makinanın kullanılması,
- Makina yeteneğinin yeterli olmadığı makina kullanılması,
- Yerleşimi uygun olmayan makina kullanılması,
- Gerekli hassasiyete sahip olmayan makinanın kullanılması,
- Ortama uymayan makinanın kullanılması,
- Makinanın bağlantı parçalarında, ekipmanında bir değişiklik veya düzenleme yapıldığından habersiz eski duruma göre makina kullanılması

şeklinde sıralanabilir.

Bu uygunsuz kullanımlar sonucu makina parçalarında bel verme, paslanma, malzemenin gevrekleşmesi, mekanik karıncalanma, genleşme, sertlik veya yumuşaklığını kaybetme gibi olumsuzluklar görülür (Black,1955).



*Yapısal değişiklikten doğan hatalar*, makinayı bir bütün olarak oluşturan birimler arasında tutarlılık olmadığı veya ilişki ve etkileşimler iyi tanımlanmadığı zaman ortaya çıkan hatalardır. Alt sistemler ve birimlerin istenen fonksiyonlarını yerine getirememesi durumudur.

#### **2.4.3. Malzeme Hataları**

Malzeme hataları, malzeme üzerinde işlem yapan sistemin geometrisinin, özelliklerinin değişmesi veya imalat, depolama, elde tutma, taşıma, muayene, kullanım ve tamir işlemleri sırasında aşırı kuvvet uygulanması sonucunda, zorlanma ile oluşur. Malzemenin istenen özelliklerini gösterememesi veya eksik göstermesi durumudur.

Malzeme hatalarını iki sınıfta toplamak mümkündür (Dasgupta ve Pecht, 1991):

- Aşırı zorlanma hataları,
- Aşınma-eskime hataları.

*Aşırı zorlanma hataları*, aşırı yükten sonra malzemin deformasyona uğraması, bel vermesi (eğilmesi), kırılma gevrekliğinin artması, karşılıklı yüzlerin yapışmaması şeklinde kendini gösterir.

*Aşınma hataları*, yorulma çatlama, yayılma, büzülme, korozyon şeklinde ortaya çıkar.

Malzeme hataları,

- Malzemelerin hacim, oran gibi fiziksel özelliklerinin tanımlanmaması,
  - Değişik marka taşıyan malzeme kullanılması,
  - Malzemenin işleme için yeterli olmaması,
  - Çalışma yöntemine uyulmaması,
  - Malzemenin kalite standardının yeterli olmaması,
  - Malzemede değişiklik yapılmaması,
  - İçersine yabancı maddeler karışmış malzemeler kullanılması
- gibi durumlarda ortaya çıkabilir.

#### **2.4.4. Yöntem Hataları**

Üretim faaliyetinde yöntem, ürünün üretilmesi esnasında izlenecek işlemler dizisi olarak



tanımlanır. Yöntem hataları, farklı işlem yapılması, işlemin yapılmaması veya yanlış yapılması şeklinde gözükür.

Yöntem hataları,

- Çalışma standartlarının yeterli,
- Yöntemin güvenli, iyi ürün sağlamaya etkili,
- İş sıralaması ve iş düzeninin doğru,
- Sıcaklık, nem, havalandırma, aydınlatma gibi çevre koşullarının istenen özellikte olmadığı durumlarda ortaya çıkar.

#### 2.4.5. Ölçme Hataları

Her ölçmenin amacı büyüklüğün gerçek değerini bulmak olmasına rağmen, elde edilen değerler genellikle ölçülen büyüklüklerin gerçek değerlerine yakın değerlerdir. Ölçme işlemi hatasız gerçekleştirilse de, kullanılan ölçek değerlerindeki belirsizlik gibi çeşitli nedenlerden dolayı ulaşılan ölçüm sonucunda ölçme hatası olarak tanımlanan bir hata söz konusu olacaktır.

Ölçme hatası,  $\Delta x$ , ölçüm sonucu bulunan hatalı değer  $x_o$  ve bulunması gereken gerçek değer  $x_G$  arasındaki farkı veren:

$$\Delta x = x_o - x_G \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır (Önal,1988).

Ölçme hatalarını oluşturan nedenler şu şekilde verilebilir (Tükel, 1980):

- Ölçme cihazlarının yetersizliği,
- Dış fiziksel etkenler,
- Ölçmeyi yapacak kişinin yetersizliği,
- Ölçülen parçanın özellikleri.

Ölçme cihazlarının yetersizliği çeşitli nedenler sonucu oluşur. Bu nedenlerden biri, ölçme cihazının imalatıyla ilgilidir. Boyut, skala bölmeleri, duyarlılık durumuyla ilgili imalat hataları ölçme cihazlarının fonksiyonunu yerine getirememeye nedenini oluşturur. Bir diğer neden, ölçme cihazının uzun bir süre veya uygun olmayan koşullarda kullanımı sonucu ölçü yüzeyinde meydana gelen aşınma, yağların katılaşması, sürtünmeye bağlı olarak gözükken yapısal ve boyut değişimlerinin, cihaz duyarlılığını azaltmasıdır.

Ölçme hatalarına yol açan bir diğer önemli etken ölçme cihazının kullanıldığı ortamdaki hava basıncı, nem miktarı, ortam sıcaklığı ve sıcaklık farkları, ışık etkisi gibi dış fiziksel etkenlerin istenen boyutta olmamasıdır.

Ölçmeyi yapan kişinin yetenekleri, ruhsal durumu gibi etkenler sonucu, cihazları yanlış kullanması, yanlış okuması, yanlış matematiksel işlem yapması, ölçme yapan kişiden kaynaklanacak hata nedenlerini oluşturur.

Ölçülen parçanın şekil ve konum farklılıkları, yüzey pürüzlülüğü, işlemde ayrışma, sertleşme gibi özellik değiştirmesi ölçüm hatalarını oluşturan nedenlerden biri olan ölçülen parçadan dolayı ortaya çıkan hataları oluşturur.

#### **2.4.6. Alet Hataları**

Üretim esnasında makinaların yanında pek çok el aleti de kullanılacaktır. Bu aletlerdeki bir hata ürünlerin de hatalı olmasına neden olacaktır. Alet hatası, kendisinden beklenen performansı gösterememesi veya eksik göstermesi olarak tanımlanabilir. İş parçasını önceden belirlenen özelliklerde işleyememe şeklinde gözükür.

Alet hataları;

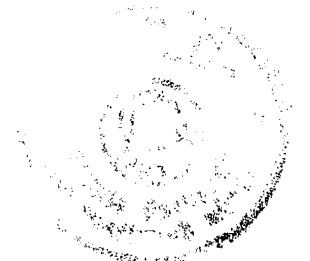
- Yapısal kusurlar,
- Geometri hatası,
- Eskime

sonucu gözükür (Pollack, 1988).

Yapısal kusurlar, geometri hatası ve eskime sonucu aletler iş parçalarıyla uyumsuzluk göstereceğinden sonuçta titreşim, kırılma (iş parçasının veya aletin), işleme esnasında daha çok güç harcama, üretim miktarında ve kalitesinde düşme gibi olumsuzluklar ortaya çıkacaktır.

#### **2.5. Karar Vermede Hata**

Karar verme, elde hazır bulunan tüm seçeneklerden, birini seçme sürecidir. Karar vermede amaç, sistemin en çok arzu edilen bir duruma gelmesini sağlamaktır. Karar



verme durumunda olan kişi(ler), yani karar verici(ler) bazı nedenlerden dolayı, istenmeyen sonuçlara yol açacak hatalı kararlar verebilirler.

Karar verme durumunda hataya yol açan nedenler şunlardır (Van Gigch, 1986):

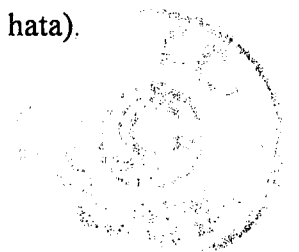
- Organizasyon yapısında, karar verme fonksiyonunun yerine getirilmesiyle ilgili olarak bir yapısal tutarlılığın olmaması.
- Karar vericinin doğası nedeniyle hata yapma eğilimlerinin olması.
- Karar vericinin bilgi yerine, deneyimine güvenerek karar vermesi.
- Karar vericilerin zekâ ve mantık yürütme yönünden farklı olmaları.
- Karar vericinin, karar verme fonksiyonunu yerine getirmek için yeterli zekâ ve mantıklılığa sahip olmaması.
- Karar vericinin, karar vermede kullanacağı farklı bilgileri hep aynı şekillerde algılaması, bilgiyi alamaması veya ulaşamaması.
- Karar vericinin karar vermede kullanacağı bilgileri değiştirmiş, kaybetmiş, yok etmiş olması.
- Karar vericinin, bilgileri değerlendirmede kendi değerleri ve dünya görüşlerini ön plana çıkarması.

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

## 2.6. Örneklem Hataları

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

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



Birinci tip hatanın gerçekleşme olasılığı  $\alpha$  ile gösterilir.  $\alpha$  kabul edilebilir partinin red edilmesi veya kabul edilebilir birimler üreten prosesin durdurulması olasılığını gösterdiğinden "üretici riski" olarak tanımlanır.

İkinci tip hatanın gerçekleşme olasılığı  $\beta$  ile gösterilir. Benzer şekilde  $\beta$  kabul edilmemesi gereken partinin (veya ikinci kalitede partinin) kabul edilmesi veya red edilebilir birimler üreten prosesin üretime (veya prosesin ikinci kalitede birimler üretmeye) devam etmesi olasılığını gösterdiğinden "tüketici riski" olarak adlandırılır.

### **2.7. Yazılım Hataları**

Yazılım hataları ürün, donanım vb. gibi hatalarından farklı bir yapı göstermektedir. Bilgisayar yazılımlarının kopyaları orijinalleriyle aynı olduğundan bunların arasında farklılık söz konusu değildir, dolayısıyla buna bağlı bir hata beklenemez. Yazılım hataları, yazılımın beklenen fonksiyonlarını yerine getirememesi şeklinde tanımlanır (Stewart, 1988). En önemli nedeni insandır.

Yazılım hataları genellikle aşağıdaki yazılım oluşturma aşamalarında ortaya çıkar (O'Connor, 1986 ):

- Öngörülen özellikleri (spesifikasyonları) belirleme,
- Yazılım sisteminin tasarımını oluşturma,
- Kodlama süreci.

Bu aşamalardaki hatalar, oluşturulan akış diyagramlarının, programın, test noktalarının, sınırların yanlış yorumlanması ve yanlış mantık yürütülmesi, yanlış kodlama yapılması, yanlış değerler girilmesi, bazı sembollerin atlanması, sıfıra bölme gibi belirsiz ifadelere yer verilmesi gibi nedenler sonucu oluşur.

### **2.8. Hata Maliyetleri**

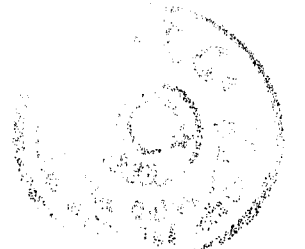
Hata maliyetleri, üretim sürecinde, ürün veya malzemenin özelliklerinin belirlenen kalite standartlarından sapması sonucu ortaya çıkan maliyetlerdir. Bunlar :

- İç hata maliyetleri,
  - Dış hata maliyetleri
- şeklinde sınıflandırılır.



*İç hata maliyetleri*, işletmenin kaliteden memnun olmama maliyetlerini yansıtır. Bu nedenle, bütün işletme kayıplarını içerir. Iskarta, hurda, fire olarak nitelendirilip müşteriye sunulamayan ve üretim sırasında veya son kontrolle ayıklanan ürünlerin maliyeti, ürünlerin kalitesizliğinden dolayı alıcılara ödenen kalite farkı, üretim sonrasında ürün üzerinde yapılan ek harcamalar ve işçilik masrafları iç hata maliyetlerini oluşturur.

*Dış hata maliyetleri*, istenen kalite özelliklerini taşımayan ürünün alıcıya ulaştıktan sonra işletmeye getirdiği maliyetlerdir. Bu tür maliyetler, alıcılar tarafından geri çevrilen ürünlerin toplam değeri, red edilen ürünler için yapılan taşıma, depolama ve satış sonrası hizmetleri içeren giderler, teslim edilen ürünün kalite düşüklüğünden doğan ve sözleşmelerde belirtilen her türlü ödenti ve kesintiler, satış sonrası yapılmak zorunda kalan hizmetlerin parasal değerini içerir (Feigenbaum, 1983).



### **3.0. HATA ÖNLEME OLANAKLARI**

#### **3.1. Hata Kontrolu**

Hataların kontrolu, kalite kontrolu ile sağlanır. Kalite kontrolu ile en yüksek tasarım ve uygunluk kalitesini, en ekonomik şekilde gerçekleştirmek amaçlanır. Kalitenin kontrolu istatistiksel yöntemler yardımıyla gerçekleştirilir. Deney tasarımı, kontrol diyagramları, neden-sonuç diyagramları, istatistiksel örnekleme, Pareto diyagramları gibi çok çeşitli istatistiksel yöntemler; ürün tasarımı, proses kontrolu, proses yeteneği incelemeleri, kalite düzeyleri belirleme ve performans değerlendirme gibi çok çeşitli alanlarda uygulanma olanağı bulurlar.

Kalite kontrolunda kullanılan istatistiksel yöntemler,

- Oluşmuş (sunulan) ürünlerin kalite yönünden kabul edilebilirliğini belirlemeye yönelik yöntemler. Bunlar, *kabul örnekleme* başlığı altında yer alır.
  - Üretim sırasındaki kalite bozulmalarını önlemeye yönelik yöntemler. Bu sınıfta yer alan yöntemler *Kalite Kontrol Diyagramları* olarak adlandırılır.
  - *Araştırma-Geliştirmeye* yönelik yöntemler.
- şeklinde üç sınıfta toplanabilir.

##### **3.1.1. Kabul Örnekleme**

Kabul örnekleme, ürünlerin kalite yönünden kabul edilebilirliğini belirlemek, yani kabul edilip edilmeyeceği hakkında karar vermek için yapılan örnekleme çalışmasıdır. Örnekleme, dışarıdan satın alınan malzemelerin, parçaların veya donanımın girişi, parçaların bir iş istasyonundan veya bölümden diğerine geçişi ve son mamülün tüketiciye ulaşması gibi imalatın çeşitli aşamalarında uygulanır. Örnekler muayene edilerek yığının kalitesi hakkında karar verilir. İlgili yığın ya da partinin öngörülen nitelikte olup olmaması bir olasılık ölçeğinde belirlenir. Kabul koşullarını sağlayan partiler kabul edilir.

##### **3.1.2. Kalite Kontrol Diyagramları**

Kalite Kontrol Diyagramları, üretimi kalite yönünden, sürekli kontrol altında tutmak amacıyla kullanılan araçlardır. Feigenbaum (1983) Kontrol Diyagramlarını “ürünün gerçekleşen kalite özelliklerini, geçmiş deneyimlere dayanarak saptanan sınırlara göre



kronolojik (saat, gün, hafta gibi) olarak kıyaslamaya yarayan şemalar” olarak tanımlamaktadır.

Bir üretim sürecindeki öngörülen özelliklere uygun mamul üreterek, planlanan üretim miktarının gerçekleştirilmesi amacı etkin bir proses kontrolü ile sağlanabilmektedir. Üretim sürecinde, çeşitli nedenler (insan, makina, malzeme, yöntem, ölçme, çevre, yönetim) sonucu değişkenliğin ortaya çıkması doğal ve kaçınılmaz bir durumdur. Bu değişkenliğin istenmeyen yön ve boyutta olup olmadığını görebilmek için o üretim koşullarında ilgili değişkenlerin kalite özellikleri (istatistiksel ölçüler) için doğal değişkenlik sınırlarının (istatistiksel tolerans sınırlarının) belirlenmesi gerekir. Bu sınırlar içindeki değişkenlik kabullenmek zorunda olduğumuz ya da bizim amacımız için sakıncalı olmayandır. Kalite kontrol diyagramlarında, kontrol sınırları olarak tanımlanan doğal değişkenlik sınırları istatistiksel yöntemler yardımıyla belirlenir. Bu doğal değişkenlik ölçülebilirse diğer nedenlerle ortaya çıkan değişme fark edilebilir. Bu sınırların dışına çıktığında doğal olmayan bir değişkenliğin oluştuğu düşünülür.

Kontrol diyagramı uygulamasında temel yaklaşım örneklemedir. Belirli zaman aralıklarında belirli büyüklüklerde alınan örneklerle ilgili bulgular diyagrama işlenir. Üretimin o andaki durumu hakkında kararlar diyagramda yer alan bilgiler yardımıyla verilir. Bunun için özelliklerin uyduğu kabul edilen normal dağılımın değişip değişmediği sorusuna yanıt aranır. Üretim kontrolden çıkmışsa, yani olması gereken dağılım yerine başka bir dağılım ortaya çıkıyorsa, sistemde üretim faktörleriyle ilgili bir değişimin olduğu anlaşılır. Değişimin önemli olup olmadığı, yeni örnekler alınıp bunların incelenmesiyle belirlenir. Değişme ortaya çıkmaya devam ettiğinde, üretim durdurularak gerekli düzeltmeler yapılır.

### ***3.1.3. Araştırma-Geliştirme***

Kelime anlamları tek tek ele alındığında, araştırmanın daha çok bilinmeyi (bir teknoloji, bir bilgi gibi) ortaya çıkarmak ve mümkünse bunları uygulamaya yöneltmek, geliştirmenin ise, mevcut teknoloji veya bilgiyi yeni ürünler ya da üretim teknikleri ile ilgili uyarlamalara doğru yönlendirmek ve elde bulunanları daha iyi kullanmak olarak tanımlandığı araştırma-geliştirme faaliyetleri, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri için gerekli faaliyetlerdir.

Kalite alanında Araştırma-Geliştirme faaliyetlerinin amacı, kalitenin iyileştirilmesi, geliştirilmesidir. Bu amaç,

- Hata kaynaklarının belirleyerek, ortadan kaldırma,
- Tüketici istek ve şikayetlerinin belirlenerek ürüne yansıtma çalışmalarıyla gerçekleştirilebilir.

Kalite iyileştirme ile ilgili çeşitli sorunların çözümü için regresyon, korelasyon analizi, istatistiksel deney planlaması, çok değişkenli istatistiksel yöntemler, faktör analizi, kümeleme analizi, ayırma analizi gibi bilimsel yöntemlerin kullanıldığı bilimsel araştırmalar yapılır. Araştırma-geliştirme faaliyetlerinde kullanılan yöntemler, örnekleme esaslı deneysel araştırmalardır. Deneysel araştırmalarda, olayların tek tek gözlenmesi ve deneyi esas alınır. Bunun yanında saha çalışması da yapılmalıdır. Araştırma laboratuvar ortamında yapıldığından deney planlaması ve deneysel denetim olanaklarından yararlanır.

Araştırmalarda, hakkında bilgi edinilecek değişkenler ile ilgili birtakım varsayımlarda bulunulur. Bir araştırmada yer alan değişkenler,

- Değişkenliği araştırılan, hakkında bilgi edinilmek istenen, bağımlı değişken,
- Bağımlı değişkeni etkileyen yani onun değişkenliğinde etkisi olan ya da olması beklenen, etkisi belirlenmek istenen, bağımsız değişken,
- Denemede dikkate alınmayan, fakat ilgilenilen değişkenler üzerinde etkisi olabilen, dolayısı ile araştırılmak istenen, koşulların etkisinin sağlıklı olarak belirlenmesini engelleyen, bozucu değişken

şeklinde sınıflandırılabilir.

Deney planlamasıyla bozucu değişkenlerin istenmeyen etkilerin önlenmesi yada en aza indirilmesi amaçlanır. Bunun için faktör olarak tanımlanan serbest değişkenin, bağımlı değişken üzerindeki sabit gerçek etkisi ortaya çıkarılmaya çalışılır. Uygulamada değişik yapıdaki sorunların çözümlenmesinde uygulanabilecek çeşitli deney planları bulunmaktadır.

### **3.2. Kalite Denetleme**

Kalite denetlemesi TS-ISO 9005 (1991) Kalite sözlüğü standardında "Kalite ile ilgili faaliyetlerin ve sonuçlarının, planlanan düzenlemelere uyup uymadığının; bu



düzenlemelerin etkili olarak uygulanıp uygulanmadığının ve amaca ulaşmak için uygun olup olmadığının sistematik ve tarafsız olarak incelenmesidir" şeklinde tanımlanmaktadır. Denetlemede amaç, tarafsız bir gözle sistemi inceleyip, zayıf noktaları, eksiklik ve hataları belirleyip, bunlara ilişkin düzeltici önlemlerin etkinliğini izlemek olduğundan, hataların bulunup giderilmesinde etkin bir yol olarak tanımlanır.

Denetleme çalışmalarında, kalite sistemi, üretim süreci veya üründen biri denetlenir. Denetleyiciler, denetlemenin yapıldığı işletmeden, müşteri konumundaki firmadan veya TS-ISO 9000 belgesini veren tarafsız kuruluşlarda görevli olan kişilerden oluşur. Bir işletmedeki denetleme işlemlerinin, farklı şekillerde ve farklı birim denetleyicileri tarafından yapılması hataların ortaya çıkarılmasında yansızlığı sağlar.

### ***3.3 Hata Ölçüm ve Modellemesi***

#### ***3.3.1. Hata Tanısı***

Hata tanısı, hata belirtileri ve bulgularına göre hata şeklini tanımlama faaliyet sürecidir. Teknik tanı koyma, işletmenin tasarım, imalat, kalite, kontrol, test etme, işleme ve bakım gibi teknik alanları ile ilgili işlemdir (Pau,1988).

Bu alanlardaki

- Sistemin kullanılabilirliği,
- Sistemin hayatta kalabilirliği,
- Emniyet,
- Ürün çıktısı,
- Kalite,
- Hata toleransı,
- Sistem faaliyetlerinde gecikme,
- Maliyetler (ömür, işlem maliyetleri),
- Bakım,
- Garantiler

ile ilgili ölçümlerde istenmeyen sonuçlar hata tanısını gerektirir. Bu durumda tanı, daha genel olarak sistemde kusurlar veya performansında azalmalar olarak gözüken hataların bulunması ve sistem çalışmaya devam ediyorken onların nasıl düzeltileceğine karar verilmesi süreci olarak tanımlanır (Ulerich ve Powers, 1988).

Hata tanısı, alarmlar ve diğer ilgili veriler yardımıyla konulur. Bilgi toplamada özel test düzeni ve alıcılardan oluşan otomatik test sistemleri ve tahrip edici olmayan donanımlardan yararlanır. Tanı fonksiyonunun otomasyonu, daha hızlı ve ayrıntılı analiz sağlar. Hata tanısını otomatik olarak yapabilmek için, hata belirtileri ve tanı stratejilerini oluşturmasında uzman sistemlerden yararlanılabilir.

Hata tanısı sistemleri de tanı koymada hata yapabilir. Bir hata tanısı koyma sisteminin hataları (Pau,1988):

- Gerçeğinden farklı bir hata şekli tanısı koyma ya da olasılık düzeyinde yanlış tanı koyma olasılığı olarak tanımlanır.
- Hata şekli, gerçekten var olduğu zaman tanı koyamama veya tanı bulamama (karar veremez) olarak gözükebilir. Olasılık düzeyinde ise hatayı bulamama olasılığı olarak tanımlanır.
- Gerçekte hiçbir hata şekli olmadığı halde hata şeklinin var olduğu tanısı konulduğu durumda ortaya çıkabilir. Bu durum yanlış alarm olasılığı olarak da tanımlanır.

Bu hatalara neden olmayacak etkin bir tanı koyma işlemi için, tek bir alıcı aletiyle bazı beklenmeyen koşullar altında yanlış bilgi elde edilebileceğinden, birçok alıcı aletin kullanıldığı geliştirilmiş tanı sistemi kullanılmalıdır. Böyle bir sistemde, tek bir ölçüm sonuçlarından yararlanılma yerine sistemin, imalat, test etme, bakım ve değişiklikler yapma gibi çeşitli adımlarında sürekli ölçümler yapabilecek daha güvenilir ve daha az tahrip edici alıcı aletlerden yararlanır. Böylece farklı alıcı aletlerden elde edilen birleşik belirtiler tanı koymayı kolaylaştırır. Deneysel çalışmalar, çoklu alıcılar kullanıldığı zaman %90 olasılıkla hatanın doğru olarak belirlenebileceğini gösterir (Rengaswamy ve Venkatasubramanian, 1995). Farklı verilerin bir araya gelmesi sistemin özelliklerinin ortaya çıkmasını sağlar ve dolayısıyla bütün ömrü boyunca sistemin işlerliğinin izlenmesi de kolaylaşmış olur.

### 3.3.2. Hata Modelleri

Modeller sistem elemanları arasındaki ilişkileri göstermede kullanılır. Hata modelleri, genellikle daha kolay tanımlanabilirlik ve değişebilirlik gibi özelliklere sahip matematiksel modeller ile tanımlanır. Matematiksel olarak modellenen sistemin davranışı matematiksel algoritmalar ile gösterilir. Model, fonksiyonel gruplar ve sayılardan oluşur. Modelin davranışı, birbirleri ile etkileşmekte olan ve zamana bağlı olarak değişebilen sistem



elemanlarının durumlarıyla belirlenir. Sonuç olarak her süreç, yapısına uyan bir matematiksel modelle gösterilir. Modellerin seçiminde ortaya çıkan sonuçların yanısıra, geçmiş deneyimlerden yararlanılır.

Ancak modelleme esnasında hata yapılması da söz konusudur. Modelleme hatası olarak tanımlanan bu hatalar (Hofmann, 1982):

- Aynı sistem için birden fazla modelin geçerli kabul edilmesi,
  - Bir sistemin birden fazla davranışı ve farklı yapıları için aynı modeli düşünmek,
  - Bir sistemin olduğundan daha basit veya daha karmaşık gösterecek şekilde modellemek
- şeklinde sınıflandırılır.

Matematiksel modeller genel olarak :

- Deterministik Modeller,
  - Stokastik Modeller
- şeklinde sınıflandırılır.

### 3.3.2.1. Deterministik Hata Modelleri

Deterministik hata modelleri, bir sonucu oluşturan nedenlerin belirlendiği durumlarda kullanılan modellerdir. Sadece kaynağı belirlenebilen değişkenlerin söz konusu olduğu kabul edilir. Rasgele değişkenlik bu modelde gözönüne alınmaz.

Deterministik hata modellerinde sistem hatası, sistemin aktarma (transfer) özelliğini yansıtan aktarma fonksiyonları kullanılarak belirlenir. Aktarma fonksiyonu  $S(p)$ , çıktı miktarının Laplace dönüşümünün, girdi miktarının Laplace dönüşümüne oranı olarak tanımlanır. Bu durumda sistemin hata aktarma fonksiyonu, sistemin gerçek durumunun aktarma fonksiyonu  $S_g(p)$ 'nin, sistemin hatasız (olması gereken) durumunun aktarma fonksiyonu  $S_o(p)$ 'ye oranıdır. Sistem hata aktarma fonksiyonu  $S_h(p)$ ,

$$S_h(p) = \frac{S_g(p)}{S_o(p)} - 1 = \frac{\Delta \tilde{x}_a(p)}{\tilde{x}_{ao}(p)} \quad (3.1)$$

eşitliği ile gösterilir (Hofmann, 1982).



Burada,

$\Delta \tilde{x}_a(p)$  = Sistem çıktısındaki mutlak farkın Laplace dönüşüm ifadesini

$\tilde{x}_{ao}(p)$  = Sistemin olması gereken değerinin Laplace dönüşümü ifadesini

gösterir.

Hata aktarma fonksiyonu, sistemdeki kaynağı belirlenebilen değişkenlerin neden olduğu hataları verir. Aktarma fonksiyonların Laplace dönüşümleri tablolar halinde hazırdır.

### 3.3.2.2. *Stokastik Hata Modelleri*

Rasgele değişkenliğin geçerli olduğu durumlarda olasılıksal hata modelleri de denen stokastik modeller kullanılır. Bu tür modellemenin yapıldığı ürünlerin veya sistemin ele alınan özellikleri her ölçümde farklı sonuçlar verebilir. Sonuçlar üzerinde, deterministik modellerden farklı olarak etkileri ayrı ayrı belirlenemeyen pekçok nedenin varlığı gözlemlenir.

Ölçülen değerler rasgele farklılaştığından, istatistiksel yöntemlerin kullanılması gerekir. Stokastik hata modelleri, teknik ve fiziksel faktörlerin herbirinin sistem üzerinde farklı etkilere sahip olduğu karmaşık durumlarda uygulanır.

### 3.3.3. *Hata Yayılımı*

Bir sonuç belirli faktörlerin katkısı sonucu ortaya çıkar. Örneğin bir ürün insan, makina, malzeme, yöntem gibi çeşitli üretim faktörlerinin katkılarıyla oluşur. Ürünün özelliğinde istenmeyen yön ve boyuttaki bir değişme yani hata, bu faktörlerin kontrol altında tutulamaması yüzünden çıkar. Hata yayılımı ile çeşitli hata nedenlerinin asıl hatanın (örneğin ürün hatası) ortaya çıkmasına nasıl bulaştığı veya hatanın yayıldığı veya hata nedenlerinin birleşerek asıl hata sonucunu nasıl etkileyecekleri hesaplanır. Hata yayılımı değişkenlerin;

- Kaynağı belirlenebilen değişken
- Rasgele değişken,

oluşuna göre iki farklı şekilde hesaplanmaktadır (Hofmann,1982).



Kaynağı belirlenebilen değişkenler söz konusu olduğunda.  $y$  ile gösterilen, olması gereken özellik veya sayısal değer, birbirinden bağımsız olan  $x_1, x_2, \dots, x_n$  gibi faktörlerin,

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.2)$$

şeklinde fonksiyonu ise,  $y$ 'nin değişme (sapma) miktarı  $\Delta y$ ,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  gibi faktörlerin değişme (sapma) miktarlarını gösteren  $\Delta x_i$ 'lerden, Gauss doğrusal hata yayılım yasasına göre

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i \quad (3.3)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Eşitlik, fonksiyonun birinci dereceden Taylor açılımına göre bulunur. İkinci ve daha yüksek dereceden terimler çok küçük değerler verdiği için gözönüne alınmaz. Göreli hatalar ise,

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta y}{\delta x_i} \frac{\Delta x_i}{y} \quad (3.4)$$

yardımıyla bulunur.

$\Delta y/y$  göreli hatası logaritmik difransiyel ile hesaplanabilir. Uygun işlem adımlarından sonra,

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta(\ln y)}{\delta x_i} \Delta x_i \quad (3.5)$$

şeklinde logaritmik ifade elde edilir.

Değişkenlerin değerlerindeki sapmalar her zaman pozitif değer almazlar. Örneğin  $\Delta x_1$ 'in gerçek değeri  $-\Delta x_1$  olabilir. Bu durumda  $\frac{\partial y}{\partial x_1}$  kısmi türevi de negatif olacağından değerlerin mutlak değerlerini almak gerekir.

Örneğin,  $y$ ,  $x_1$  ve  $x_2$  gibi iki değişkenin fonksiyonu ise, doğrusallık yasası uygulandığında,

$$|\delta y_{\text{maks}}| = \left| \frac{\delta y}{\delta x_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\delta y}{\delta x_2} \Delta x_2 \right| \quad (3.6)$$

eşitliği ile tanımlanır.

Rasgele değişkenlik söz konusu olduğunda, y yine olması gereken özellik veya sayısal değer ve birbirinden bağımsız olan  $x_1, x_2, \dots, x_n$  gibi faktörlerin fonksiyonu, yani

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.7)$$

ise, y'nin sapma değeri  $\Delta y$ , bu defa karesel hata yayılım yasanına (Gauss hata yayılımı) göre

$$\Delta y = \pm \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada  $\Delta x_i$ ,  $x_i$ 'lerin rasgele sapma değerleridir.

### 3.3.4. Güvenilirlik

Güvenilirlik, sistem, donanım, ekipman, bileşen gibi çeşitli birimlerin verilen koşullar altında ve tanımlanan süre içinde istenen fonksiyonunu arızasız yerine getirme olasılığı olarak tanımlanır. Kısaca arızalanmama (bozulmama) olasılığıdır.

Güvenilirlik çalışmalarında ele alınan birimler,

- Tamir edilir,
  - Tamir edilemez birimler
- olmak üzere iki sınıfta incelenir.

Hatası onarılarak tekrar kullanıma sunulan birimler için güvenilirlik, her birim için verilen zaman aralığında ortalama arıza sayısı (arıza oranı) veya arızalar arası ortalama süre (AAOS) olarak tanımlanır. Tamir edilen birimler için arızanı sabit oranlarda ortaya çıktığı kabul edilir ve  $\lambda$  ile gösterilen bu arıza oranı,  $\lambda = (AAOS)^{-1}$  şeklinde tanımlanır. Tamir edilebilir birimler için birden fazla arızanın gözükmesi söz konusudur.

Tamir edilemeyen birimler için ise sadece bir arıza gözükür. Bu ilk ve tek arıza ortaya çıktığında birimin ömrü de sona erer. Bundan dolayı, tamir edilemeyen birimler için güvenilirlik, beklenen ömrü boyunca varlığını sürdürme olasılığı olarak tanımlanır. Bu tür birimler için "ortalama arıza süresi" veya "ortalama ömür" hesaplanır. Birimin ömrü sırasında ilk ve tek arızanın aniden ortaya çıkma olasılığı hasar oranı olarak tanımlanır.

Tamir edilemeyen birimler tek parça veya bu parçaların bir araya gelmesinden oluşmuş bir sistem olabilir. Tamir edilemeyen sistemde bir parça arızalı olduğunda sistem arızalı



olur. Bu yüzden, güvenilirlik ilk arızalı parçanın gözükteği zamanın fonksiyonudur. Tamir edilen birimler için ise birimler arızalı olduğunda güvenilirlik, belirli zaman aralığında birden fazla arıza ortaya çıkmasına rağmen, sistemin belirli bir süre arızasız çalışma olasılığıdır. Bu olasılık "arıza oranı" veya "arıza gözükme oranı" olarak tanımlanır.

Güvenilirlik analizinde stokastik süreçlerden ve özellikle Markov analizi'nden yararlanır.

#### **3.3.4.1. Markov Analizi**

Güvenilirlik alanındaki, en çok uygulama alanı bulan analizlerden biri kalıcı durum analizi ve onun en çok bilinen çeşidi olan Markov Analizi'dir. Bu yöntemde sistem veya bileşen, hatalı veya hatasız şeklinde tanımlanan iki durumdan birindeyse ve bu durumlarla ilgili olasılıklar tanımlanabiliyorsa, gelecekte iki durumdan birinde olma olasılığı değerlendirilir. Ancak, bu analiz tamir edilebilir birim ve sistemler için uygundur.

Markov analizinin uygulanabilmesi için sistemin şu özellikleri taşıması gerekir (O'Connor, 1986):

- Bir durumdan diğer duruma değişme olasılıkları sabit kalmalıdır, yani proses homojen olmalıdır.
- Gelecek durumları bir önceki durum dışındaki bütün durumlardan bağımsız olmalıdır. Ancak, tamir edilebilir sistemler, tamir edildikten sonra başlangıçtaki gibi yeni olduğu düşünülduğünden bu durum önemli bir kısıt oluşturur.

#### **3.3.5. Hata Dağılımları**

Hata dağılımları, bir sistemin, sistem biriminin, ürünün, makina ve aletlerin ömür uzunluğunu matematiksel olarak tanımlamak için kullanılan istatistiksel araçlardır. Hataların ortaya çıkacağını önceden kestirmeyi sağlarlar. Bunun için hata dağılımlarının gerçek yapısının bilinmesi gerekir. En çok bilinen hata dağılım modelleri, normal dağılım, üstel dağılım, Weibull dağılımı, Gamma dağılımı ve ekstrem değer dağılımdır (Singpurwalla, 1971).

Normal dağılım en çok kullanım alanı bulan, en önemli olasılık dağılımıdır. Biyolojik ve teknik pek çok problemin bu dağılım model alınarak çözülebileceği kanıtlanmıştır. Sürekli bir dağılım olmasına rağmen, kesikli dağılımlar (binom, poisson) yerine yaklaşık çözümler için de kullanılabilir.

Lognormal dağılım, normal dağılımın logaritmik şeklidir. Dağılım, normal dağılan rasgele değişkenlerin logaritmasını alınmasıyla oluşturulur. Sıfırdan  $-\infty$ 'a değişme aralığını değerlendirme olanağına sahiptir.

Üstel dağılım, güvenilirlik araştırmalarında çok önemli bir yeri olan sürekli dağılım çeşitidir. Ömür dağılımı, arıza süreleri dağılımı olarak kullanılır.

Gamma dağılımı, ömür test problemlerinde kullanılan, iki parametrelili sürekli bir dağılımdır. Parametrelerin aldığı değerlere göre dağılım, özel şekilleri olan üstel veya kare dağılımlarına dönüşür.

Weibull dağılımı, ilk olarak, eskime ile ilgili yapılan testlerden elde edilen verilerin olasılık sonuçlarını modellemede kullanılmıştır. Ömür dağılımlarını modellemek için kullanılır. Dağılım tek bir eğriden çok, eğriler ailesi ile tanıtılır. İki veya üç parametrelili bir dağılımdır. Parametrelerindeki değişiklikler dağılımın özel şekilleri olan üstel ve normal dağılımları verir.

Ekstrem değer dağılımları, bir serideki ekstrem değerler olarak tanımlanan en küçük ve en büyük değerlerle ilgilenildiğinde uygun olan bir dağılımdır. Ekstrem değer dağılımı en küçük ve en büyük değerlerin her ikisinin veya en küçük değerinin sınırlandırıldığı durumlarda lognormal, normal, üstel dağılım ve Weibull dağılımına uyar.

### ***3.4. Hata Önleme Teknikleri***

Hataların ortaya çıkmadan belirlenip, önleyici tedbirler alınarak giderilmesi ancak etkin bir hata analizi ile sağlanabilir. Hata analizi uygulamaları çok eskiye dayanır. Daha ilk çağlarda, insanların geliştirmiş oldukları ilk aletleri kullanırken, kişisel fikir ve deneme yanılma yöntemleri ile hataları analiz etmeye başladıkları bilinmektedir.



Hata analizi,

- Hatanın ve nedenlerinin daha iyi anlaşılmasını,
- Hatanın tekrar ortaya çıkmasını önlemek için önleyici faaliyetlerin geliştirilmesini,
- Hatalar ve önleyici faaliyetler için sorumlulukların oluşturulmasını sağlar (Lewis,1987).

Hataların önlenmesi amacıyla geliştirilmiş, özellikle güvenilirlik analizi esaslı çalışmalarda kullanılan pekçok hata analiz tekniği vardır. Bunlardan en yaygın kullanılanları olay ağacı analiz, hata ağacı analizi ve poka-yoke tekniğine aşağıda değinilecektir.

### **3.4.1. Olay Ağacı Analizi**

Olay ağacı, sistemlerin tümevarımsal analizini içeren bir niceliksel tekniktir. Bir olay ağacı, çeşitli nedenler sonucu oluşan başlangıç olayı veya sistem hatası ve onu izleyen ayrık olayların oluşturduğu ardışık olaylar zincirinden oluşmaktadır. Bu analiz tekniği başlangıç veya tepe olayın, yani sistem hatasının nedeninin incelenmesiyle başlar ve sonra alt sistemler veya bileşenlerin hatalı veya hatasız olmasına göre oluşan hata zincirlerinin izlenmesiyle devam eder. Olay ağacında, olaylar dizisi olan zincir bir yol veya dal olarak tanımlandığında, her bir dalın sonuçları vardır. Sonuçların herbiri, başlangıç olayını izleyen olaylara bağlıdır. Diğer bir deyişle, olaylar dizisi veya yollar, sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Olay ağacının niceliksel olarak değerlendirmesinde, başlangıç olayı izleyen dal üzerindeki olayların koşullu olasılıklarının çarpımıyla herbir sonucun gerçekleşme olasılığı bulunmaya çalışılır. İş ve ekonomik analizlerde çok yaygın olarak kullanılan karar ağaçlarının bir uyarlaması olan olay ağaçları, sistem emniyet analizi ve hata etkileri analizinde çok yararlıdır (Ang ve Tang, 1984).

### **3.4.2. Hata Ağacı Analizi**

Hata ağacı, karmaşık sistemlerde hataların ve hatalar arası etkileşimin sonuçlarını tanımlamaya yarayan bir araçtır. Hata ağacı analizi, olay ağacına benzer. Buradaki tepe olay, genellikle ciddi emniyet bozulmalarına veya önemli ekonomik kayıplara neden olan ana (sonuç) hatalardır. Hata ağacı analizi ile, tanımlanan sistem hatasının kök nedenleri, sistemin daha düşük düzeylerinde yer alan olaylarda veya hatalarda aranır. Sonuçta, tepe olaya yol açan bütün olası bileşenler, işleme ve diğer hatalar tanımlanır, sistemin kritik olayları gösterilir. Tepe olayın ortaya çıkması olumsuz sonuçlara yol açabilir veya

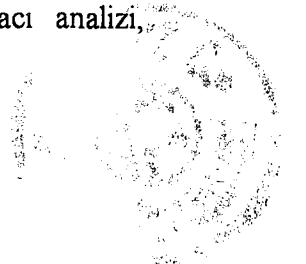
açmayabilir. Olası sonuçların ne olacağı, koşullara veya izlenecek sonraki olaylar dizisine bağlıdır. Hata ağacı analizi, sadece istenmeyen olaylarla, yani hatalar ve onların olasılıkları ile ilgilidir. Tepe olaya neden olmayan hatalar ele alınmaz. Hata ağacı diyagramıyla tepe olay veya başlangıç olayını izleyen sonraki olayların farklı sonuçlar veren her bir yolu sistematik olarak tanımlanabilir.

Hata ağacının amacı, tepe olay olarak tanımlanan istenmeyen olayın ortaya çıkmasına neden olan çeşitli sistem koşullarını tanımlamak ve modellemektir. Bu durumda bir hata ağacı diyagramı, tepe olayın (hataların) birleşim ve/veya arakesitlerinin grafiksel ayırımı olarak tanımlanabilir. Grafiksel gösterimde, "VEYA", "VE" kapıları kullanılarak tepe olay ve onun ortaya çıkmasına neden olan hatalar arasında mantıksal ilişki kurulmaya çalışılır. "VEYA" ile tepe olayın, alt olayların birleşimi olduğunu gösterir. Diğer deyişle tepe olay alt olaylardan en az biri ortaya çıktığında ortaya çıkacaktır. Tepe olayı, alt olayların arakesiti olduğunda, tepe olayın ortaya çıkması için alt olayların hepsinin ortaya çıkması gerektiğini gösteren "VE" kullanılır. Sadece VE ve VEYA kapılarından oluşan hata ağacında tepe olayın gerçekleşmesini temsil etmek üzere Boole cebirinden yararlanılabilir. Hata ağacı analizinde değişik hata durumlarını göstermek için ayrıca çeşitli sembollerden yararlanılır (Ang ve Tang, 1984).

Hata ağacının sistem tasarımı için önemli bilgiler sağlayan niteliksel değerlendirilmesi yanında, olasılık değerleri katılarak niceliksel değerlendirilmesi yapılabilir. Tepe olayın olasılık değerini belirleyecek kritik olayların tanımlanması bu değerlendirme ile yapılır. Bu durumda tepe olayın ortaya çıkma olasılığı kritik olaylar kümesinin ortaya çıkma olasılığını en küçüklenmesiyle azaltılır. Hata ağacını değerlendirmenin amacı, sistemin kabul edilebilir risk düzeylerinde işleyip işlemediğini belirlemektir. Tepe olayların ortaya çıkmasında çok fazla etkili olacak olayların belirlenerek etkilerinin en küçüklenmeye çalışılması sistemin iyileşmesini sağlayacaktır. Bu durumda kabul edilebilir risk düzeyi yeniden belirlenir.

Hata ağacı analizi, farklı hata şekilleri veya hata olayların, mantıksal ilişkilerle açıklanabilen etkileşimler sonucu ortaya çıkardıkları farklı tepe olayların herbiri için ayrı ayrı uygulanır.

Hata ağacı analizi, Hata Şekli ve Etkileri Analizi (HŞEA/FMEA) ile birlikte kullanıldığında daha olumlu sonuçlar elde edilecektir. Ancak, hata ağacı analizi,



sistemden başlayarak alt bileşenlere doğru ilerleyen bir üst-alt yaklaşımı olması ve birden çok hatayı analiz edebilme yeteneği yönünden, HŞEA'den farklı bir yapı gösterir. HŞEA'da alt-üst veya üst-alt yaklaşımlarından herhangi biri kullanılabilir ve hata şekilleri tek tek ele alınır. HŞEA analize hata şekliyle başlayırken, hata ağacı analizinde her bir hata şeklinin tepe olaya katkıda bulunduğu kabul edildiğinden tek tek incelenerek hata şekli bulunmaya çalışılır.

### 3.4.3. Poka-yoke

Poka-yoke, Japonca Poka (Hata) ve Yokeru (Sakınma) kelimelerinin bir araya gelmesi ile oluşan bir kavramdır. Poka-yoke, insanların yaptığı basit hataları önlemeye yönelik tekniktir (Shimbun,1988). Hataların oluşumunu ve hata sonucu oluşacak hatalı ürünün kullanılmasını önlemeyi esas aldığından "sıfır" hataya ulaşmada etkin bir yaklaşımdır.

Poka-yoke iki farklı amacı gerçekleştirmek üzere uygulanır (Shimbun, 1988):

- Önlemeye yönelik poka-yoke (önleme),
- Bulmaya yönelik poka-yoke (bulma).

*Önlemeye yönelik poka-yoke*, hata olmadan önce, uygun yöntemlerle hata olacağını farketmek ve hata olmadan önlemeyi esas alır.

*Bulmaya yönelik poka-yoke*, hata olduktan sonra hatanın farkına varıp veya hatalı ürünü bulup, tekrarını önlemeyi ve hatalı sayısının en azlamayı amaçlar.

Poka-yoke çeşidinin seçiminde proses yeteneği, maliyet, uygulanabilirlik unsurları gözönüne alınır.

Her iki poka-yoke uygulamasında da, durdurma, kontrol ve alarm fonksiyonu olmak üzere yerine getirilmesi gereken üç temel fonksiyon vardır.

*Önlemeye yönelik poka-yoke'de,*

*Durdurma fonksiyonu*, hataya neden olacak faktörleri belirleyerek, prosesi durdurur.

*Kontrol fonksiyonu*, hataya neden olabilecek parçaları, malzemeleri kontrol eder ve ayırır.

*Alarm fonksiyonu*, hata ürüne yansiyıp hatalı ürün ortaya çıkmadan uyarıda bulunur.

***Bulmaya yönelik poka-yoke'de,***

***Durdurma fonksiyonu,*** hatalı ürünler belirlendiğinde devamını önlemek için prosesi durdurur.

***Kontrol fonksiyonu,*** uygun yöntemlerle hatalıları belirler, ayırır ve bir sonraki prosese gitmesinin önler.

***Alarm fonksiyonu,*** hatalılar farkedildiğinde uyarıcı nitelikte sinyal vererek, devamının önlenmesini sağlar.

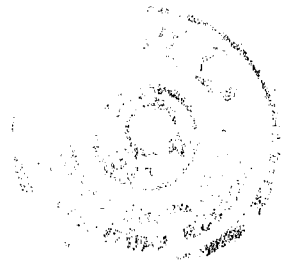
Yukarıda yer alan fonksiyonlarla, hatalı oranını en az düzeyde tutarak, diğer proseslere yayılmasını önlemek mümkündür. Bu durumda alınacak acil önlemlerle hatalar giderilebilir.

Bu sistemin uygulanmasında, poka-yoke araçları olarak tanımlanan bazı araçlardan yararlanır. Poka-yoke araçları,

- Hataya neden olacak durumların ve hatalıların belirlenmesine yönelik mekanik, elektronik sistemler ve otomasyona dayanan araçlar,
- Herhangi bir uygulamanın doğru olup olmadığını görme, dinleme, dokunma gibi duyuların yardımı ile kolayca belirleme olanağı veren ışıklı ve sesli araç-gereçler olmak üzere genel olarak iki sınıfta toplanır.

Poka-yoke tekniğinde kullanılan araçlar aşağıda verilen ortak özellikleri taşır (Shingo,1986):

- %100 muayene özelliğine sahiptirler.
- Poka-yoke araçları ile yapılan %100 muayene, istatistiksel kalite kontrolunda uygulanan örnekleme tekniklerinden daha az sıkıcıdır.
- Kullanılan poka-yoke cihazları düşük maliyetli cihazlardır.



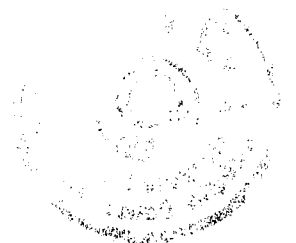
## **4.0. HATA ŞEKLİ VE ETKİLERİ ANALİZİ**

### **4.1. Yöntemin Tanımı**

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 Şekli ve Etkileri Analizi (HŞEA) 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. HŞEA, ürünün tasarım veya prosesini geliştirme ve gelişmeleri yorumlamada yararlanılabilecek niceliksel bir tekniktir. HŞEA, 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 götürmemektedir. Bunun yerine hatanın oluşum nedenlerine inerek ortaya çıkışını önlemek, dolayısıyla kusursuzluğu hedeflemek gerekmektedir. Bu yüzden ki HŞEA tekniği, Toplam Kalite Yönetimi'nde önemli bir işleve sahiptir (Kasa ve Boran, 1993).

1980 yılında yayınlanan ve bu konuda yayınlanmış ilk standartlardan biri olan MIL-STD 1629A (Hata Şekli, Etkileri ve Kritiklik Analizi Uygulaması için Prosedür)'da HŞEA'nın genel tanımı "sistemdeki her bir olası hata şeklinin, sistemdeki sonuçlarını veya etkilerini belirlemek ve önemlerine göre her bir hata şeklini sınıflandırmak için analiz edildiği bir prosedürdür" şeklinde verilmektedir. Stamatis (1995b) tanımı daha genişleterek "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.

HŞEA'nın yinelenmeli (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 HŞEA'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.

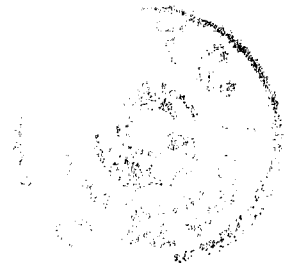
HŞEA hata ortaya çıkmadan ve hatayı beklemediği için önlem almamış olan müşteriye ulaşmadan önce belirlenip giderilmesini sağlayan bir hata analiz tekniğidir. Bu özelliği ile hataları ortaya çıkararak onarmak amacını taşıyan kalite kontrol yöntemlerinden farklılık gösterir. Çünkü HŞEA amacı hataları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

HŞEA'nın riskleri azaltma yollarını arıyan bir teknik olması, işin en iyi şekilde yapılmasını bir sonraki aşamaya hatasız ulaşmasını sağlayacaktır. Böylece ortaya çıkabilecek olası hataların HŞEA ile önlenmesiyle tasarımlar, prosesler ve sistemler daha güvenilir olacaktır.

HŞEA 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 HŞEA, risk altında karar verme yöntemi olarak da tanımlanır.

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

HŞEA ile içerilen kavram ve prosedürler yeni değerildir; 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 karalama şeklinde aktarmaktaydılar. Mükemmeli yakalamada etkin bir analitik teknik olan HŞEA, bugün oluşturulmuş belirli bir düzen içerisinde gerçekleştirilirken yine çalışanların deneyim ve düşüncelerinden yararlanmaktadır.



HŞEA kişilerin deneyim ve düşüncelerini,

- Hata ne olabilir?
- Hatanın nedenleri ne olabilir?
- Hatanın etkileri neler olabilir?

sorularına aldığı yanıtlarla değerlendirir, şekilsel düzenekler (HŞEA tablosu) yardımıyla yazılı hale getirir (Kara-Zaitri et al., 1991). Böylece bilginin elde tutulması ve yazılı hale getirilmesi, planlı, sistematik bir şekilde yapılmış olur. Aynı zamanda kişiler, disipline edilmiş bir yaklaşım kullanmaya da zorlanmış olurlar. HŞEA, genellikle bir grup çalışması olarak uygulandığından, bilgi ve deneyimin bir araya getirilmesini sağlayan bir araç olarak da görülebilir.

HŞEA tekniğinin kullanım amaçları şu şekilde özetlenebilir (Prasad, 1990):

- Bir ürünün tasarım ve imalatıyla ilgili olası hata şekilleri ve nedenlerini belirleyip değerlendirmek.
- Olası hatanın ortaya çıkma şansını ortadan kaldırmak veya azaltacak faaliyetleri belirlemek.
- Uygulama sürecini yazılı hale getirmek.

HŞEA uygulama sürecinde elde edilen bilgilerin HŞEA tablosu olarak tanımlanan formlarda yazılı yer alması, iyileştirme çalışmalarının izlenebilirliğini sağladığından TS-ISO 9000 standardının bu yöndeki isteği de yerine getirilmiş olacaktır (Ashley,1993).

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 HŞEA tekniği şekilsel bir yapıda ilk defa, NASA'da uzay gemilerinin yapımında güvenilirliğin sağlanması amacıyla kullanıldı. Ancak daha önce 1957'lili yıllarda, Boeing ve Martin Marietta şirketlerinin genel olarak yöntemi ve mühendislikteki uygulama sürecini tanımladıkları bir el kitabı oluşturdukları bilinmektedir (Ashley,1993). Bu yöntem, 1960'lı yıllarda uzay ve nükleer çalışmalarda, elektronik endüstrisinde, 1970'li yıllarda otomotiv endüstrilerinde, montaj imalat güvenilirliği ve son ürün güvenilirliğini arttırmak amacıyla kullanılmaya başlamıştır. Otomobil üreticilerin tekniği bugün Delfi (delphi) yöntemi adıyla kullandıkları da görülmektedir (Liebreman,1990). HŞEA'nın öncelikle bu alanlarda uygulanma olanağı bulmuş olması emniyet faktörünün onlar için çok önemli olmasından dolayıdır. Bugün de, otomobil, beyaz eşya, elektronik gibi çeşitli

sanayi kollarında üretilen ürünlerin yapısındaki karmaşıklığın artışı, beraberinde güvenilirlik isteklerinde de artışa neden olduğundan HŞEA'nın daha çok kullanıldığı alanlar olmasını sağlamıştır. HŞEA tekniği kullanılan malzemenin, tasarlanan sürecin, kullanım çevresi özelliklerinin ve kullanıcı alışkanlıklarının göz önünde bulundurulduğu özellikle son montaj işlemlerinde, kusursuz ürün üretmek için zorunlu bir araç olmaktadır (Prasad, 1990).

Yöntemi uygulayan yöneticiler, işletmelerinde "ilk defada doğruyu yapma" felsefesini yerleştirmeye isteklerini ve "son ürettiklerinden daha iyisini üretmek" amaçlarını gerçekleştirmiş olacaktırlar.

HŞEA, özellikle şu isteklerden biri gerçekleştirilmek istendiğinde kullanılmaktadır (Kara-Zaitri et al., 1991):

- "İlk defada doğruyu yapma" felsefesini yerleştirmek,
- Hızla değişen müşteri isteklerini karşılayabilmek,
- Gititkçe artan yaptırımlara uymak,
- Ürün sorumluluk iddiasını en küçüklemek,
- Düşük fiyatlarda, yüksek ürün kalitesi sağlamak.

HŞEA ile ilgili yayınlanmış ilk standartlardan birinin U.S.A'da yayınlanan MIL-STD 1629A, diğerinin ise Avrupa Otomotiv Mühendisleri Topluluğu tarafından yayınlanmış olan standard olduğu bilinmektedir. Bu teknik Almanya'da DIN 25448 (Ausfallffekten Analyse, Fehler Möglichenkeits und Einfluß Analyse)'de, İngiltere'de BS 5760 da tanımlanır. Ford Motor Şirketi, Jaguar, Renault şirketleri gibi özellikle otomotiv endüstrisindeki kuruluşların, ayrıca kendi standartlarını hazırladıkları görülmektedir. Örneğin Renault şirketi, AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets, et de leur Criticité) adıyla uygulamaktadır.

Otomotiv başta olmak üzere, çelik, haberleşme, savunma, elektrik ve elektronik, beyaz eşya gibi birçok sanayi kolundaki kuruluşlar yan kuruluşlarının (tedarikçilerinin) da yöntemi uygulamalarını istemektedirler. Sanayi kuruluşları tedarikçi firmalarını ya sadece HŞEA yönteminin içerildiği eğitim kursları düzenleyerek, ya da Toplam Kalite Yönetimi eğitim kursları içinde bu konuya yer vererek eğitim çalışmalarını sürdürmektedirler.





## 4.2. HŞEA Çeşitleri

Başlangıçta, sadece donanıma yönelik olarak kullanılan HŞEA'nın, daha sonra fonksiyonel olarak prostedeki olası hataların belirlenip bunların giderilmesi veya azaltılması için kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

HŞEA genel olarak kullanım alanlarına göre,

- Tasarım-HŞEA,
- Proses-HŞEA

olmak üzere iki çeşide ayrılmaktadır.

İşletmelerin, çoğunlukla tasarım-HŞEA ve proses-HŞEA'dan sadece birini kullandıkları görülmektedir. Ancak sırasıyla önce tasarım-HŞEA ve sonra proses-HŞEA uygulandığında daha iyi sonuçlar alınır. Tasarım-HŞEA ve proses-HŞEA aşağıda ayrıntılı olarak tanımlanır.

### 4.2.1. Tasarım-HŞEA

Tasarım-HŞEA, ürünlerin üretim kararı verilmeden önce uygulanır. Tasarımdaki hatalardan dolayı hizmet veya imalat aşamalarında ortaya çıkan olası ürün hata şekillerini ele alır. Tasarım bütünlüğünü sürekli kılmak amacı doğrultusunda, tasarım aşaması dışında imalatta, 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 bir hata şeklinin etkisi analiz edilir ve düzeltici faaliyetler yani tasarım değişiklikleri tanımlanır. Tasarım-HŞEA, tasarımın değerlendirmesine yardım etmek ve düzeltici faaliyet öncelikleri oluşturulması esaslarını sağlamak için tasarımın ilk aşamasından son aşamasına kadar sürekli olarak uygulanmalıdır. Tasarım-HŞEA yinelemeli (iteratif) yapısıyla, bu isteğe uygunluk gösterir.

Tasarım-HŞEA ile 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 kısalmak, insanlar hataların

olumsuz etkileriyle karşı karşıya gelmeyecektir. Böylece ürün veya sistem güvenilirliği ve emniyetinde de artışlar sağlanmış olacaktır. Bundan dolayı tasarım-HŞEA, tasarım yaklaşımlarıyla ilgili kararların verilmesinde ve tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesinde yararlı bir araç olarak tanımlanır.

Yukarıda kısmen verilen tasarım-HŞEA'nın sağladığı yararları şu şekilde özetlenir (Tasarım-FMEA, Ford Motor Şirketi) :

- Tasarım istekleri ve tasarım seçeneklerinin objektif değerlendirilmesine yardım eder.
- Olası hata şekilleri ve sistemin çalışmasında bunların etkilerini tasarımın gelişme aşamasında gözönünde tutulmasını sağlar.
- Gelişme ve iyileştirme 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 biçim (HŞEA tablosu) oluşturulmasını sağlar.
- İlgili kişilerin düşüncelerinin analiz edilmesi, tasarım değişikliklerinin değerlendirilmesi ve önerilen tasarımların geliştirilmesi aşamalarında yararlanacakları kaynak olur.

Tasarımdaki olumsuzluklar, ürünün imalatı esnasındaki, imalat süreci kontrol yöntemleri ile giderilemeyeceğinden, imalat sürecine güvenmeyi son verip çıkacak sorunlar başlangıçta tasarım-HŞEA aşamasında önlenmeye çalışılmalıdır.

Tasarım-HŞEA 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, parça, bileşen gibi sistemin en alt düzeyindeki birimlerden başlanır, alt montaj, alt sistem gibi aşamaları geçerek sistemin yada ürünün en son düzeyine kadar ilerlenir. İki yaklaşımdan birinin seçimi sistemin ve sorunun büyüklüğüne bağlı olacaktır. Uygulamada kabul gören ikinci yaklaşımdır.

Teknolojik gelişmeyle ürünlerin ve sistemlerin çok karmaşık olduğu günümüzde Tasarım-HŞEA'nın yapay zekâ ve Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ile uygulanması çok daha olumlu sonuçlar verecektir.



#### 4.2.2. Proseses-HŞEA

Proseses-HŞEA, 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 proseste yapılacak iyileştirmeler, bu tekniğin aynı zamanda proses geliştirme yaklaşımı olarak tanımlanmasını sağlar. Proseses-HŞEA, kusursuz ürünler üretmek için analizcilere montaj veya imalat proseslerinde kullandıkları makinaları, aletleri, prosesleri ve insangücünün etkilerini analiz ederek, imalat proseslerini değerlendirebilme yani zayıf noktalarını belirleme olanağını verir (Sahni,1993). Donanım hataları, çalışanların hataları, uygun olmayan malzeme ve yöntemlerin kullanımı sonucu oluşan hatalar proseses-HŞEA 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 proseses-HŞEA'nın tasarım-HŞEA'dan daha zor ve zaman alıcı olarak tanımlanmasına neden olur (Stamatis, 1995b).

Proseses-HŞEA iki şekilde:

- Bitmiş ürünün olası hata şekillerini
- Her bir imalat aşamasında prosesin olası hata şekillerini belirlemek amacıyla kullanılır (Coker et al., 1989).

Bu nedenle proseses-HŞEA, ürün-proseses-HŞEA olarak da tanımlanır. Bu durumda proseses-HŞEA, ürünün olası hata şekillerini belirleyen, hataların müşteri üzerindeki olası etkilerini değerlendiren, olası imalat veya montaj prosesindeki hata nedenlerinin ve hata koşullarının önlenmesi için önemli proses değişikliklerini tanımlayan bir analitik teknik olarak tanımlanır (Prasad, 1990).

Etkin bir proseses-HŞEA satın alma, araştırma&geliştirme, üretim, kalite güvencesi, pazarlama gibi temel faaliyet adımlarını içerir.

Sonuç olarak, tasarım-HŞEA ve proseses-HŞEA her ikisi de hatalar ortaya çıkmadan ortadan kaldırma ortak amacını taşıyan ancak ürün veya sistemin farklı aşamalarına uygulanan yaklaşımlardır. Uygulama sürecinde sadece yararlandıkları bilgiler açısından farklılıklar gösterirler. Her iki HŞEA çeşidinden de çok olumlu sonuçlar elde edebilmek için yazılı belgelerin (raporlarının), analiz tamamlandıktan sonra çekmeceye unutulup

kalmaması, önerilen düzeltici faaliyetlerin uygulanması, sonuçların izlenmesi yani "dinamik yaşayan" belgeler olması gerekir.

#### **4.3. Hata Şekli, Etkileri ve Kritiklik Analizi**

Olası hata şeklinin etkileri kritikliklerine göre sınıflandırılırsa, yöntem Hata Şekli Etkileri ve Kritiklik Analizi (HŞEKA) olarak adlandırılır. Yazılı kaynaklarda kısaca FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) olarak tanımlanan HŞEKA, sistemdeki bütün olası hataları, sistemin işlemesi sırasında ortaya çıkması olası olan hata etkilerini hata şekli analiziyle belirleyen, hata noktalarını tanımlayan ve hataları kritikliklerine göre sınıflandıran bir yöntemdir.

HŞEKA, aşağıdaki iki analiz tekniğinin birleşmesiyle oluşur (MIL-STD 1629A,1984):

- Hata Şekli ve Etkileri Analizi (HŞEA),
- Kritiklik Analizi (KA).

Başlangıçta HŞEA olarak bilinen tekniğe "kritiklik" terimi daha sonra eklenmiştir (Ashley, 1993). Kritiklik, hata şekli ve onun ortaya çıkma sıklığının sonuçlarının görelî ölçüsüdür. Kritiklik analizi, HŞEA ile belirlenen her bir olası hata şeklini, önemlilik ve gözükme olasılığının her ikisine (birleşimine) göre sınıflandırılmasını sağlar. Diğer bir deyişle kritiklik analizi, her bir hata şeklini, sonucu olan sistem hata etkisine ve gözükme olasılığına göre değerlendirmek için kullanılır (Wei, 1991). Bu yöntem de,

- Tasarım-HŞEKA
- Proses-HŞEKA

olarak uygulanır.

#### **4.4. HŞEA/HŞEKA Uygulama Süreci**

Hata Şekli ve Etkileri Analizi uygulamasıyla ilgili standard bir uygulama süreci henüz yoktur. Çoğunlukla her işletme kendi organizasyon yapısına ve müşteri isteklerine göre bir uygulama süreci oluşturmuş ve bunu izlemektedir. Ortak bir uygulama süreci sağlanması yönünde Avrupa ülkeleri arasında çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Bu çalışmalar sonucunda otomotiv endüstrisi için 1993 yılında bir standart HŞEA tablosu şekli ve uygulama süreci yayınlanmıştır (Stamatis,1995a). Ancak yine de işletmelerin uygulamalarında küçük farklılıklar görülmektedir.



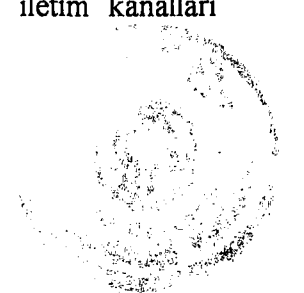
Ortak bir standardın olmaması birçok güçlüğü ortaya çıkarmaktadır. Bunlardan bir tanesi uygulamada HŞEA ile HŞEKA'nın birbirlerinin yerine kullanılması, farklı isimler altında aynı adımların izlenmesidir. Yani HŞEKA'nın ilk adımını oluşturan HŞEA'nın, ikinci adım olan KA'yı da içermesidir. Bu nedenle uygulama sürecindeki adımlar açıklanırken bu iki kavram birlikte kullanılacaktır. HŞEA kavramı yalnız kullanıldığında, HŞEKA'nın birinci aşaması söz konusu demektir.

Diğer güçlük, tedarikçi işletmeler ile ilgili olarak ortaya çıkmaktadır. Birçok işletmenin HŞEA/HŞEKA uygulamasını tedarikçilerinden istediği bilinmektedir. Bir işletmenin, birden fazla işletmenin tedarikçisi olması ortak standard gereksinimini arttırmaktadır. Küreselleşmenin, buna bağlı olarak rekabetin, arttığı ortamda şekilsel olarak aynı yöntemin kullanımının sağlayacağı yararlar açıktır.

HŞEA/HŞEKA'nın yer aldığı MIL-STD 1629A, Avrupa Otomotiv Topluluğu tarafından yayınlanmış olan standard ve Ford, Renault, Jaguar gibi otomobil firmalarının ayrı ayrı oluşturdukları HŞEA/HŞEKA kullanım el kitaplarının içerik olarak aynı olmasına rağmen içerdikleri şekilsel küçük farklılıklar, yöntemin uygulama sürecinin tanıtımı sırasında ilgili adımlarda gösterilecektir.

Pek çok Japon Şirketinde uygulanmakta olan sorun çözme yaklaşımı, HŞEA uygulamalarında da yararlanılabilir (Dale ve Shaw, 1990):

- İşletmelerde üretimden sorumlu kişiler, olası hatalarını, tasarım aşamasında tanımlayarak, ortadan kaldırmak için tasarım bölümünde tasarım mühendisiyle çalışabilirler. Benzer şekilde, tasarım mühendisleri, tasarım isteklerinin üretim esnasında gerçekleştirilip gerçekleştirilmeyeceğini görmek için üretim hazırlama aşamasında ilgili üretim bölümünde bulunabilir. Bu farklı bölümlerde çalışma sistemi, HŞEA uygulamasına uyarlanabilir.
- İşletmelerin tedarikçi kuruluşlarından uzman kişiler ve müşteriler, süreç geliştirmede gereksinim duyduklarında çalışmada yer alabilmelidir. Bugün, birçok Japon şirketi ürün geliştirme çalışmalarında, tedarikçilerinin teknik ve yenilikçi yeteneklerinden yararlanmaktadır. Tedarikçiler bu durumda, misafir tasarımcı olarak adlandırılırlar.
- Japonların oldukça çok yararlandıkları bakım sorumlularının ve operatörlerin bilgileri, proses-HŞEA'nın hazırlanmasında da oldukça çok kullanılabilir.
- HŞEA'da müşteri ve tedarikçilerin arasında, ileri ve geri bilgi iletim kanalları geliştirilmiş olmalıdır.



HŞEA/HŞEKA uygulama süreçleri farklılıklar gösterebilir de genel olarak şu adımlar izlenir (Prasad,1990):

- Ürünün, sistemin tasarım veya üretim süreci tanımlanır.
- İmalat, mühendislik, kalite, satın alma gibi sorumlu bölümlerin tanımlanır.
- Tasarım veya imalatla ilgili olarak işbirliği yapılacak dış tedarikçiler tanımlanır.
- Olası hata şekilleri tanımlanır.
- Olası hata etkileri tanımlanır.
- Her bir hata şekline atanabilir olası nedenler tanımlanır.
- Hata şekli ortaya çıktığında hata nedenlerini önleyecek veya hata nedenlerini ortaya çıkaracak bütün geçerli kontrol sistemleri tanımlanır.
- Olası hata nedeninin gözükme olasılığı belirlenir.
- Müşteri için hata etkilerinin önemliliği belirlenir.
- Ürün, üretim alanından ayrılmadan önce hatanın bulunması olasılığı belirlenir.
- Son olarak bütün hata şekillerinin Gözükme(G), Önemlilik(Ö) ve Bulma(B) olasılıkları veya verilen değerleri yardımıyla Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanır.

Uygulama sürecine şu adımlar da eklenebilir:

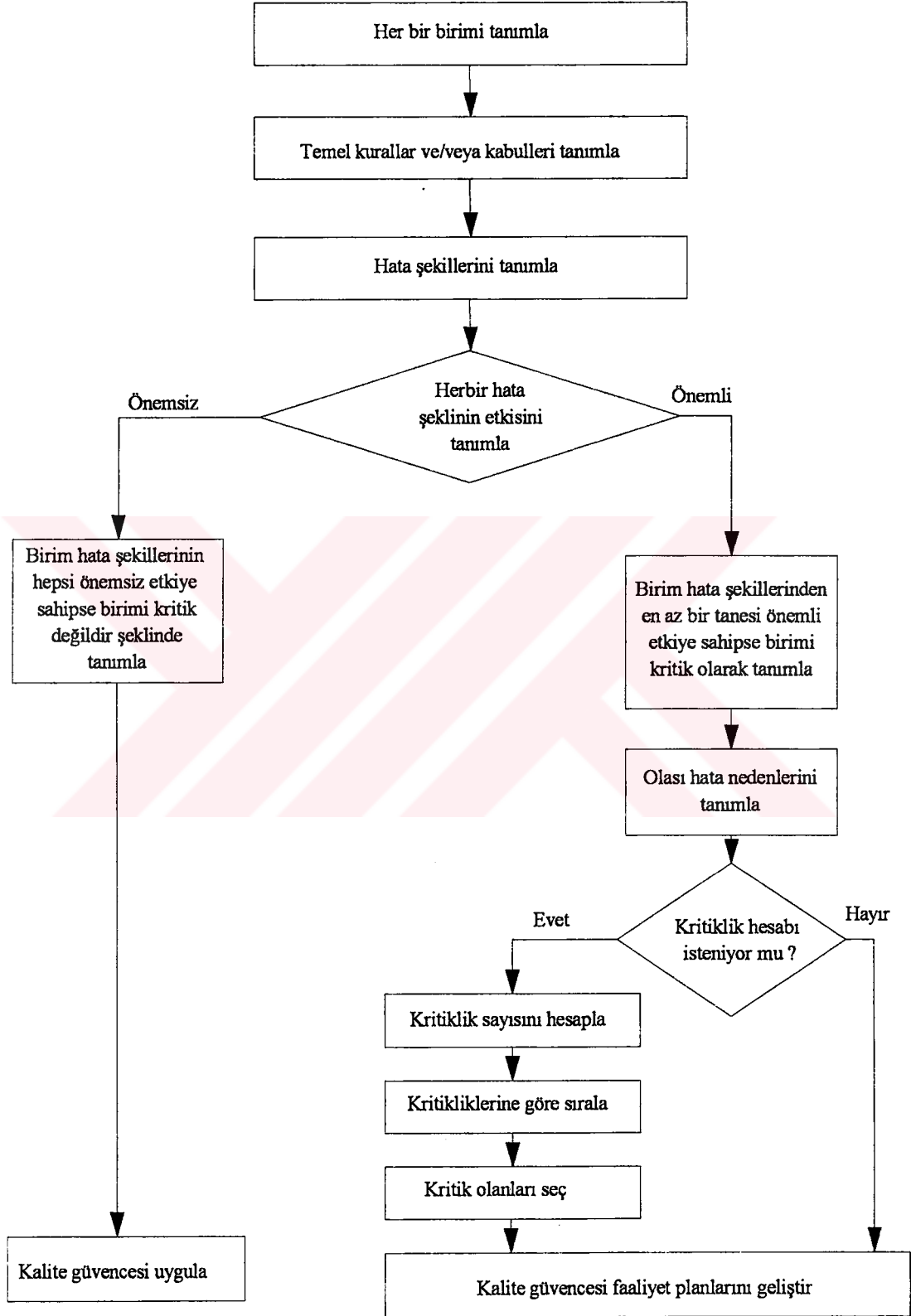
- Yeni hata bulma önlemleri önerilir.
- Önlemleri uygulayacak sorumlu kişiler ve uygulama süresi belirlenir.
- Yerine getirilen önlemler belirlenir.
- Yeni RÖS değerleri hesaplanır.

Bu yöntemin uygulama süreci geliştirilerek beş adımda toplanabilir (AMDEC; Renault Şirketi):

- Hazırlık Çalışmaları
- Sistem Analizi
- Analiz Sonuçlarını Değerlendirme
- İzleme-Uygulama
- Doğrulama

Bir örnek HŞEKA uygulama sürecinin akış diyagramı şekil 4.1.'de verilmektedir.





Şekil 4.1. Hata Şekli, Etkileri ve Kritiklik Analizi Akış Diyagramı (Wei, 1991).

HŞEA/HŞEKA uygulama sürecinde tanımlanan bütün ayrıntılı adımlar, yaygın kullanım şekli olan, tablolarda yer alır. Tabloların standart bir şekli yoktur. HŞEA/HŞEKA bilgileri bu tablolarda ilgili başlıklar altındaki sütunlara kaydedilir. Tablodaki bilgilerin bir kısmı zorunlu olarak yer alması gerekenler bazıları ise isteğe bağlı olarak yer verilenler olduğundan sütun sayısı 10-15 arasında değişir. Herbir bilgi bir sütunda yer alır. Aşağıda tablo 4.1'de bir örnek HŞEKA tablosu örneği verilmektedir.

Tablo 4.1. Örnek HŞEA Tablosu

Ürün: Parça No:	Proses HŞEA□ Tasarım HŞEA□			İnceleyenler			Tarih
Fonksiyon /birim	Olası Hata Etkisi	Olası Hata Şekli	Olası Hata Nedeni	Mevcut durum Önlem B Ö G RÖS	Önerilen düzeltici önlemler	Sorumlu Tarih	Düzeltilmiş durum Alınan B Ö G RÖS önlemler

HŞEA/HŞEKA uygulama sürecinin tablo yardımıyla gösteriliminde şu özellikler gerçekleştirilir:

- Ürün veya sistemin alt düzeyinden başlayarak en üst düzeyine doğru ilerleyen uygulama sürecinin sonuçlarının kaydedilmesi kolaylaşmış olur.
- Tabloda yer alan bilgilere ulaşılması, anlaşılıp, yorumlanması kolaydır.
- Ürün veya sistemin zayıf, sorunlu veya ayrıntılı analiz gerektiren alanlarının belirlenmesinde kolaylık sağlar.

Uygulamada kullanılan ve kaynaklarda yer alan HŞEA/HŞEKA tablosu örnekleri Ek 1'de verilecektir.

#### 4.4.1. Hazırlık Çalışmaları

Sistem analizi esasına dayanan HŞEA/HŞEKA yöntemi uygulamasına başlamadan önce bazı çalışmalar yapılmalıdır. İlk olarak analiz edilecek ürün veya sistem tanımlanmalı ve uygulamanın nedenleri belirlenmelidir. Sonra sırasıyla, yöntemin uygulanmasını isteyen kişi(ler), analizi yapacak kişiler ve karar verecek kişi, çalışma sınırları ve ulaşılmak istenilen rakamsal olarak hedef başlangıçta açıkça tanımlanmalıdır.



İlk olarak, HŞEA yönteminin uygulanacağı ürün, proses veya sistem tanımlanır. Çalışmanın yapılması için sistem, ürün ve proses için aşağıdaki durumlardan birinin gerçekleşmiş olması gerekir (Stamatis, 1995a):

- Yeni sistem, ürün ve prosesler tasarlanmıştır.
- Mevcut sistem, ürün ve proseslerde değişiklikler yapılmıştır.
- Sistem, ürün ve prosesler için yeni uygulamalar bulunmuştur.
- Mevcut sistem, ürün ve prosesler için gelişmeler olmuştur.

İşletmenin bir elemanı veya bir müşterisi gibi bir sorunla karşı karşıya olan herkes, çözümün sağlanması için bir çalışmanın başlatılması girişiminde bulunabilir. Konu, çalışmayı isteyen kişinin ilgi alanıyla ilgili olmalıdır.

HŞEA/HŞEKA yöntemi uygulama esnasında karşılaşılabilecek pek çok belirsizliğin kontrol edilebilmesi için bir grup tarafından uygulanmalıdır. Yöntemin grup yerine bir tek kişi tarafından uygulanması durumunda, analizin tamamlanarak bilgilerin HŞEA/HŞEKA tablolarında yer alması sağlanabilmesine rağmen değerlendirmelerde yanlışlık ortaya çıkabileceğinden istenmez. Grup çalışmasının istenmesinin bir diğer nedeni bu şekilde çalışmanın işletmede kalitenin yapılmasını sağlamasıdır.

HŞEA/HŞEKA'nın grup tarafından uygulanmasında aşağıdaki esaslara uyulmalıdır (AMDEC, Renault Şirketi):

- Bir sistemin veya ürünün güvenilirliğindeki ana aşamalar, sistem veya ürünün oluşturulmasındaki aşamalar ile ilgili olduğundan grup üyeleri kalite, mühendislik, satın alma, imalat, araştırma gibi çeşitli bölümlerden seçilmelidir.
- Her HŞEA/HŞEKA uygulaması için ayrı bir grup oluşturulmalıdır.
- Grubu oluşturan üye sayısı yeteri kadar fikir üretilebilecek ve konunun dağılmasına fırsat vermeyecek büyüklükte örneğin 5 ila 8 kişi arasında olmalıdır.
- Olumlu sonuçların alınabilmesi için üst yönetimden kişilerin de grupta yer alması sağlanmalıdır.

Bir diğer özellik olarak işletmelerin tedarikçilerinden bir ilgili kişinin ve müşterilerinin de gruba katılabileceği yukarıdaki özelliklere eklenebilir (KOGEM, 1995). Özellikle tasarım-HŞEA uygulamasında, teknolojinin satın alındığı durumda satan işletmenin bu konuda bilgili bir elemanının grupta yer alması çok olumlu sonuçlar verecektir

Uygulamanın tamamlanma süresi için kesin bir kısıt yoktur. Bu süre sorunun büyüklüğüne, çalışma grubu, çalışmayı isteyen veya karar veren kişi tarafından belirlenebilir. Çalışmanın çok uzun sürmemesi gerekir. Bunun için gerekirse konu küçük kapsamlı konulara bölünebilir. Ayrıca grubun çalışma hedeflerine uygun olarak toplanma sıklıklarının ve toplantı sürelerinin uzunluğunun başlangıçta belirlenmesi ve bir çalışma planının oluşturulması çalışmanın uygun zamanda, uygun maliyet ile tamamlanmasını ve pek çok öneriyi içermesini sağlayacaktır.

Çalışmanın onayını veren (kabul eden) kişi sorunun ilgili olduğu bölüm şefi, işletme müdürü olabilir. Karar verici olarak tanımlanan bu kişi uygulanacak düzeltici önlemlerin sorumlularını ve uygulama sürelerini de belirlemesi istenen karar verme yetkisine sahip, hiyerarşik olarak üst düzeyde bir kişi olmalıdır.

HŞEA/HŞEKA çalışma sınırları şartname, plan, geçmiş dönemlerde yapılan hata analiz sonuçları, önceki HŞEA/HŞEKA çalışmaları, akış diyagramları, müşteri şikayetleri, üretim sorunları (fireler, düzeltmeler), üretim ve kontrol planları, garantiler gibi kaynakların yardımıyla açıkça tanımlanmalıdır. Çalışma sınırları iki şekilde belirlenir. Birincisinde, tasarım veya üretim sürecinin bütün adımları içerilir, çalışmalar ilerlemeye bağlı olarak zaman içinde gerçekleştirilir. İkincisinde, tasarım veya üretim sürecinin kritik olarak kabul edilen bazı adımları ele alınır. Tasarım da kritik olarak kabul edilen birim, bir parça veya bir alt montaj olabilir. Üretim süreci içinse kritik alan fonksiyonlardan oluşacaktır. HŞEA/HŞEKA uygulama alanını çok büyük tutmak yerine küçük bir kaç parçaya ayırmak daha iyi sonuç verecektir. Bazı durumlarda kaynağı çalışma sınırları dışında bulunan bir hata gözönüne alınabilir. Ancak bu durumda çözüm, grup çalışması söz konusu olduğunda, grup içinde değil sorumlu bölümde aranır.

Mevcut durumun ve ulaşılmak istenen hedef değerinin sayısal olarak tanımlanması değerlendirme kolaylığı sağlayacaktır. Ancak tanımlanan sayısal hedef ne olursa olsun asıl hedef daima "sıfır hata" olmalıdır. Hedef değer, müşteri tarafından veya istatistiksel yöntemler ile belirlenir.

#### ***4.4.2. Sistemin Analizi***

HŞEA tekniği ürün veya sistemler hakkında ayrıntılı bilgiler ister. Bu da ancak ayrıntılı analiz edilmeleri ile sağlanır. 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 yararlanılabilir. Blok diyagramları fonksiyonu ve çalışma şekillerini, proses akış diyagramları üretim süreçlerini gösterir. Blok diyagramları, ürünün çeşitli durumlarda gözönüne getirilmesini kolaylaştırır ve analizi gerçekleştirenlerin ürün veya sistemin çalışma şeklini ve sınırlarını belirlemelerinde yardımcı olur.

Ayrıca sistemlerin, çalışmaları esnasında ortaya çıkan farklı durum ve koşullardan etkilenme durumu da yine sistem analizi ile incelenmelidir. Bu etkinin sonuçları sistem çıktılarında görüleceği için farklı durumlardaki sistem davranışlarını da bilmek gerekir. Bu da ayrıntılı sistem analizi uygulaması ile sağlanacaktır.

Bir HŞEA/HŞEKA uygulaması sırasında bütün sistem geliştirme tekniklerinden ve bunlardan elde edilen bilgilerden yararlanır. Aynı zamanda, HŞEA/HŞEKA'dan elde edilen bilgiler de bu tekniklerde kullanılabilirdiğinden bütünleşik HŞEA/HŞEKA sağlanmış olur. Test ve değerlendirme, kalite güvencesi, bütünleşik lojistik destek, sistem emniyeti, tasarım ve gelişme alanlarında yapılan çalışmaların herbiri HŞEA/HŞEKA için önemli girdi kaynakları olacaktır. Bu girdi kaynaklarından birkaçı aşağıda verilecektir.

HŞEA/HŞEKA'da kullanılacak tasarım ile ilgili teknik veri, tasarım için öngörülen özellikler ve çizimlerden, fonksiyonel blok diyagramlarından, alternatif tasarımların ödünleşim çalışmalarından, parça ve malzemelerin öngörülen özelliklerinden, teknik standartlardan, teknoloji değerlendirme raporlarından, tasarım ve gelişme planları ve çizelgelerinden, çevre faktörleriyle ilgili çalışmalardan, işlemsel kavramları ve zaman kısıtlarını belirleme çalışmalarından elde edilir.

Birlikte yapılan, Güvenilirlik-Kullanışlılık-Bakım yapılabilirlik (RAM-Reliability-Availability-Maintainability) analiz çalışmalarının raporlarında yer alan hata oranları, hata şekilleri, güvenilirlik modelleri, hata tanımları ve hata ölçütü bilgileri HŞEA/HŞEKA'da veri olarak kullanılır.

Sistem veya ürünün muayene ve değerlendirme faaliyetleri esnasında ortaya çıkan hata şekillerinin etkileri, muayene raporlarında yazılı olarak yer alır. Bu belgeler, hata etkilerinin belirlenmesinde HŞEA/HŞEKA için bir kaynak olacaktır. Bunun yanında



muayeneler ile HŞEA/HŞEKA'da önceden belirlenemeyen azaltılmış hata şekilleri ve etkileri de belirlenmiş olur.

İşlem ve Bakım Planları, HŞEA/HŞEKA'da önlemlerin önerilmesinde gereksinim duyulan önemlilik ve işlemsel performans ölçütü bilgisini sağlar.

Kalite Güvencesi çalışmalarında yer alan, kalite planları, muayene ve testlerden elde edilen bilgi, kritiklik sınıflandırmasında kullanılır.

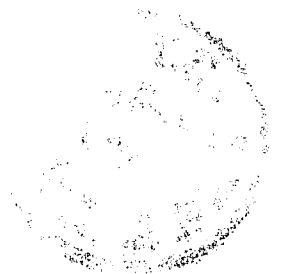
Sistem Emniyeti Analizi'nin, Hata Ağacı Analizi, Yaygın Hata Analizi, Hasar Analizi gibi değişik yöntemleriyle elde edilen bilgiler emniyet açısından kritik birimlerin belirlenmesinde kullanılır.

İnsanın, insan-makina sistemi içersinde oldukça önemli bir yeri vardır. Çalışma alanlarının tasarımı, kontrol ve bakım faaliyetlerinde insan faktörü gözönünde tutulmalıdır. Bu nedenle, hata şeklinin ortaya çıkmasında çalışanın etkili olduğunun düşünülmesi HŞEA/HŞEKA için önemli bir girdi olacaktır.

Sistemin tanımını yapabilmek için kullanılan teknolojiyi de bilmek gerekir. Teknolojiyi bilmeden sistemi analiz etmek mümkün değildir. Teknolojinin dışarıdan satın alındığı durumda ise teknolojiyi üreten firmadan bir kişinin analiz grubuna katılması sağlanarak analiz gerçekleştirilir.

HŞEA/HŞEKA uygulamasını bütün bilgilerin toplanmasını beklemeden, bazı bilgiler elde edilir edilmez, mümkün olduğu kadar erken başlatılması gerekir. İlk bilgiler sistem veya ürün kısıtlarını ve tanımları oluşturmada yeterli olacaktır. En uygun olan QFD ile birlikte başlatılmasıdır. Bütün ayrıntılı bilgilerin toplanması beklendiğinde HŞEA/HŞEKA yapılamaz.

Dale ve Shaw (1990) Ford Motor Şirketinin tedarikçilerine uyguladıkları anketde, ilgililere HŞEA'da kullanılacak bilgileri sağlamak amacıyla yararlandıkları teknikleri sormuşlardır. Bu soruyu yanıtlayan otuzbeş işletmenin kullandıkları tekniklerin dağılımı tablo 4.2'de görüldüğü şekildedir. Tablodan görüldüğü gibi birçok teknik farklı şekillerde bir araya gelerek HŞEA uygulamasında kullanılmaktadır.



Tablo 4.2. HŞEA ile Birlikte Kullanılan Teknikler (Dale ve Shaw, 1990)

Teknik	Kullanan Sayısı
Neden-sonuç analizi	8
Proses akış diyagramı	6
Taguchi deney tasarımı, neden-sonuç analizi ve Pareto analizi	2
İlgili raporlar	2
Neden-sonuç analizi, İPK, ürün ve düzeltici faaliyet raporları	2
Neden-sonuç analizi ve Pareto analizi	1
Benzer ürünlerde proses yetenek indisleri	1
Düşük derece analizi ve benzer ürünlerin kalite raporları	1
Neden-sonuç analizi ve akış diyagramı	1
Deney tasarımı	1
Kalite performans raporları ve beyin fırtınası	1
Garanti analizi, montaj hata analizi, Pareto analizi ve kontrol şemaları	1
Yetenek çalışmaları	1
Neden-sonuç analizi ve beyin fırtınası	1
İstatistiksel Proses Kontrol (İPK)	1
İPK, beyin fırtınası ve iş gruplarından geri besleme	1
Yığın değerlen., kalite analizi, kalite ve mühen.test ve alan raporları	1
Neden-sonuç analizi ve önceki hata raporları	1
Önceki sorunlar ve onların çözümlerinden elde edilen deneyimler	1
Neden-sonuç analizi ve İPK	1

Neden-Sonuç Analizi'nin diğer tekniklere göre daha çok sayıda işletme tarafından kullanıldığı görülmektedir. Kullanan işletme sayısına göre sıralamada ikinci sırada Proses Akış Diyagramı yer alır ve bunu İstatistiksel Proses Kontrol (İPK) izler. İPK'nın üst sırada bulunmasının nedeni HŞEA ve İPK arasındaki yarar ilişkisinin karşılıklı olmasıdır. HŞEA, İPK kullanımında izlenecek proses ve ürün özelliklerini tanımlayarak üretim sürecinin gelişmesini sağlarken, İPK de HŞEA'yı güncelleştirmek için gerekli bilgileri sağlayarak, geri bildirim görevini yapar.

Yöntemin, sorunun bütün hatları ile incelenmesini sağlayan analiz aşaması, fikirlerin üretildiği aşamadır. Olası hata şekli, olası hata nedeni, olası hata etkisi ve mevcut hata bulma teknikleri bu aşamada belirlenir.



#### 4.4.2.1. Olası Hata Şekli

Hata şekli, hatanın gözlemlendiği tarzı (şekli)dır. Hatanın ortaya çıkma şekli bir fonksiyona bağlı olduğunda, hata şekli, bir sistemin fonksiyonlarını yerine getirememesi durumu veya anormal işleyişidir. Daha genel olarak, hata şekli yerine getirilememiş bir fonksiyon ve fonksiyonun yerine getirilememesi şeklindedir. Hata şekli, fiziksel özellikler ile tanımlanır. Olası hata şeklini belirlerken, hatanın ortaya çıkabileceği fakat ortaya çıkmasının gerekmeyeceği kabulü yapılır. Olası hata şekli, genellikle hatanın ortaya çıkma şekli ve sistemin çalışmasındaki etkisinin tanımını içerir.

Hata şekillerini belirlerken,

- Tasarımla veya prosesle ilgili olası sorun nedir?
- Parçanın spesifikasyonları karşılamadığı durumlar nelerdir?
- Öngörülen mühendislik özelliklerini hiç gözönüne almadan, müşterinin 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?

sorularına aranılan yanıtlar, hata şeklini bulmaya yardımcı olurlar.

Analizcilerin olası hata şekillerini 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.

Hata şekillerini belirlemek için;

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

gibi kaynaklardan sağlanan bilgilerden yararlanır.

Ortaya çıkabilecek olası hata şekilleri fonksiyonellikle ve donanımla ilgili olmak üzere iki şekilde belirlenebilir. Donanımla ilgili hata şekline örnek olarak şunlar verilebilir :

- Kırılma
- Deforme olma
- Korozyona uğrama
- Açık devre (elektrik)
- Kısa devre (elektrik)
- Gürültü
- Renk uyumsuzluğu
- Aşınma
- Delinme
- Sıkışma
- İşlememe
- Titreme

Fonksiyonellikle ilgili örnek hata şekilleri ise:

- Belirlenen süre içerisinde sürekli çalışmama yani çalışmanın durması,
  - Kesintili işleme,
  - Düşük düzeyde işleme
- şeklinde verilebilir.

#### **4.4.2.2. Olası Hata Etkisi**

Hata etkisi hata şekli ile bağlantılıdır. Etki, herbir hata şekliyle neden olunan, sistemin fonksiyonelliğindeki değişikliği gösterir (Pugh et al., 1994). Olası hata etkisi, hatanın ortaya çıktığı kabul edildiğinde, müşterinin neyin farkında olacağı ile ilgilidir. Kısaca, hatayla karşılaşan müşterinin tepkisini, yani olası hatayla karşılaştığında oluşan sonuçları tanımlar. Buradaki müşteri bir sonraki bölüm veya işlem yapacak kişi veya son kullanıcı olabilir. Uygulamada genellikle müşterinin son kullanıcı olarak seçildiği görülmektedir. Bunun nedeni de ürünün satın alınma miktarının, kullanıcısının memnunluk 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.

Hata etkisi, "hata şekli ortaya çıkarsa ne tür sonuçlara yol açar?" sorusu sorularak genellikle işletmelerin araştırma veya kalite bölümü tarafından belirlenir. Hata etkilerinin belirlenmesinde yararlanılan veri kaynakları ise şunlardır:

- Müşteri şikayetleri
- Garanti verileri
- Benzer ürünler için yapılmakta olan veya yapılmış HŞEA sonuçları
- Güvenilirlik verileri
- İlgili deney çalışmalarının sonuçları ile ilgili veriler

Hata şeklinin etkilerinin belirlenmesinde, mevcut veriler ile çıkarsama yaparak otomatik olarak üreten uzman programlardan da yararlanılabilir (Hunt et al.,1993).

MIL-STD 1629A'da, sistemdeki, bir hata şeklinin sadece bir hata etkisine yol açacağı varsayımıyla hatanın etkisinin ortaya çıkacağı düzey hiyerarşik olarak üç grupta sınıflandırılır:

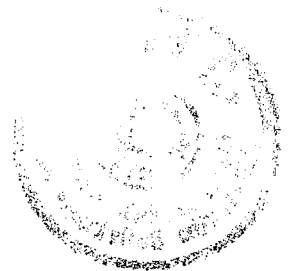
- **Hatanın yerel etkisi:** Hatanın, analiz edilmekte olan birimin çalışmasında, fonksiyonunda ve durumunda etkisi.
- **Hatanın sonraki en yüksek düzeydeki etkisi:** Hatanın, analiz edilmekte olan birimin bulunduğu grubun çalışmasında, fonksiyonunda ve durumunda etkisi.
- **Hatanın en son düzeydeki etkisi:** Hatanın, analiz edilmekte olan birimin yer aldığı sistemin çalışmasında, fonksiyonunda ve durumunda etkisi.

Hata etkilerinin hiyerarşik sınıflandırılması, tasarım-HŞEA/HŞEKA ile ilgili bir örnek üzerinde açıklanmak istenirse, ürün tasarımının analizinde ürünün bileşenlerindeki hata etkisi yerel etkiyi, ürünün alt montajındaki hata etkisi sonraki en yüksek düzey etkisini, ürün üzerinde hatanın etkisi ise en son düzey etkisini vermektedir.

Yukarıda da tanımlandığı gibi standard uygulamada bir hata şeklinin sadece bir hataya yol açacağı kabul edilir. Ancak Sexton (1991), bir hata etkisinin birden fazla bileşen veya sistem etkisine yol açabileceğini belirtmekte ve yeni bir yaklaşım önermektedir. Bu yaklaşımda, bir hatanın sistemi meydana getiren bileşenlerin birden fazlası üzerindeki etkisini ve bu etkilerin büyüklüklerini yeniden düzenlenmiş HŞEA tablosu ile görmek mümkün olmaktadır. Ancak genelde uygulamada yaygın olan her bir hata şekli için bir tek hata etkisi tanımlamak şeklindedir.

Olası hata etkisi örnekleri:

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





#### 4.4.2.3. Olası Hata Nedeni

Olası hata şeklinin ortaya çıkmasında etkili olacak unsurlar, neden olarak tanımlanır. Hatanın nedeni, hatanın şeklini oluşturabilecek ilk anormalliktir. Hata nedenleri tasarım veya proses esnasında sorunların gözükme gerekçelerini gösterir. Hata nedenlerini ortaya çıkarmak için, "Olası hata şeklinde sonuçlanabilir işlem değişkenleri nelerdir?" sorusuna yanıt aranır.

Hata nedenleri,

- Kritik durumları ortaya koymak,
- En az harcamayla kalite hedeflerine ulaşmak için tanımlanır ve sınıflandırılırlar.

Hata nedeni ile ilgili şu özellikler verilebilir:

- Bir hata nedeni bir veya birden fazla hata şekline yol açabilir.
- Birden fazla hata nedeni tek bir hata şekline yol açabilir.
- Bir hata nedeni bir veya birden çok faktörün bir araya gelmesi sonucu oluşmuş olabilir.

Hata nedenlerinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntem neden-sonuç (balık kılıçığı) diyagramıdır. 3M+1İ (makina, malzeme, yöntem 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.

Neden-sonuç diyagramlarının yanısıra nedenlerin üretilmesinde yararlanılan diğer olanaklar şu şekilde sıralanabilir:

- Geçmiş dönem kayıtlarının yer aldığı veri bankaları
- Analiz yöntemleri (hata ağacı analiz tekniği, blok diyagramları, benzetim)
- Yaratıcılık yöntemleri (inversiyon, benzetme)

Hata nedenlerine örnek olarak şunlar verilebilir:

- Aşırı yüklenme
- Aşırı zorlanma
- Dengesizlik
- Kötü çevre koşulları



- Yanlış tanımlanmış malzeme
- Yanlış tanımlanmış veya eksik iş talimatları
- İyi tanımlanmamış malzeme
- Uygun olmayan tasarım ömür kabulü
- Uygun olmayan bakım talimatları
- Yanlış tanımlanmış malzeme kalınlıkları
- İşgücünün eğitim yetersizliği
- Makina ayarlama hatası

#### **4.4.2.4. Hata Bulma**

Ortaya çıktığı kabul edilen, bir hata nedeninin (şeklinin) müşteriye ulaşmasını önleyen uygulamalara hata bulma (tespit) adı verilir. Hata bulma çalışmaları, hatanın müşteriye ulaşmaması için öngörülen bütün önlemleri içerir. Hataların bulunmasında temel yaklaşım kontroldür. Ancak hatalar sadece kontrol ile bulunamaz sistem veya ürünün oluşturulması aşamalarında gerçekleştirilen diğer faaliyetler ile de hatalar farkedilebilir. Örneğin:

- Tasarım aşamasındaki, malzeme dayanımlarının hesapları, bitmiş parçalar üzerinde yapılan hesaplamalar, deneyler, ön üretimde yapılan denemeler etkin hata bulma yollarıdır.
- Sistem veya ürünlerin tanımlanması aşamasında, benzerleri üzerinde ölçümlendirme, düzenleme, deneme gibi konularda elde edilmiş olan deneyimler yine hataların bulunmasında kullanılır.
- Üretime alınma aşamasında, ürünün imalat ölçülerinin hesaplarından, proses yetenek hesaplarından, deneyimlerden hataların bulunmasında yararlanır.
- İmalat sisteminin kurulması aşamasında, montajın yapılamaması, operasyon sırasının izlenememesi, talimatlar, ürünün veya imalat yönteminin kontrolü, deneme üretimler hataların bulunmasını sağlar.

Hata bulmada yararlanılan bu olanaklar, hata bulma noktalarının her zaman hata kaynağının yakınında olamayacağını, uzağında da yer alabileceğini göstermektedir.

Hata şekli, nedeni ve sonuçlarını belirlemek amacıyla hata bulmada kullanılan kontrol cihazı gibi araç ve gereçler, kontrol yöntemleri, kontrol sıklıkları gibi bütün ayrıntılar HŞEA/HŞEKA tablosunda ilgili sütunlarda yer almalıdır. Bir hata şekli (nedeni) için

öngörölmüş bir hata bulma yöntemi yok ise yine belirtilmelidir. Bu tanımlama "tespit yok" şeklinde yapılır. Bir hata şekli veya nedeni için birden fazla yöntem kullanılıyorsa yine hepsi analiz esnasında tanımlanmalıdır. Hata bulma ile ilgili bu ayrıntılı açıklama,

- Hata bulma yönteminin, hatanın oluştuğu en yakın yere yerleştirilmesini,
- Hata bulunamıyorsa, hata şeklini bulabilecek yöntemin uygulamaya alınmasını sağlar.

Böylece hata bulma yöntemlerinin etkinliği artacak, maliyetler düşecektir.

#### 4.4.3. Değerlendirme

Değerlendirme aşaması HŞEKA'nın olası hataların kritikliklerine göre sıralama işlemi yapıldığı *Kritiklik Analizi* kısmını oluşturmaktadır. Bu aşmada herbir olası hatanın risk esasına göre kritiklikleri belirlenir. MIL-STD 1629A (1984)'da kritiklik "hata şekli ve onun ortaya çıkma sıklığının sonuçlarının göreceli ölçüsüdür" şeklinde tanımlanmaktadır. Kritikliği belirleyen ölçüt *Kritiklik Sayısı* veya onun eşdeğeri olan *Risk Öncelik Sayısı*dır. Kritiklik sayısı, risk faktörlerinin olasılık değerleri kullanılarak hesaplanır. Ancak uygulamada işlem kolaylığı sağlamak amacıyla kritiklik olasılıksal bir değer yerine bir sayısal büyüklük olarak ifade edilir. Risk öncelik sayısı adı verilen bu sayı, hata gözükme ve bulunabilirlik risk faktörlerinin olasılık ile ve önemlilik risk faktörünün sözel olarak tanımlanan değerlerine belirli aralıkta yer alan sayılar atanıp matematiksel işlem uygulanması sonucu bulunur. Risk öncelik sayısı'nın bir değeri veya anlamı yoktur, sadece hataların kritiklik yönünden göreceli olarak karşılaştırılmasını ve sıralanmasını sağlar.

Değerlendirme aşamasında aşağıda belirtilen göstergelerden yararlanır:

- Gözükme (sıklık)
- Önemlilik
- Bulma
- Kritiklik sayısı veya RÖS

##### 4.4.3.1. Hata Gözükmesi

Hatanın gözükmesi, hatanın ortaya çıkma sıklığıdır ve herbir olası hata şeklinin gerçekleşmesi olasılığı ile ilgilidir. Gözükme olasılık değerini belirlemek için iki farklı yaklaşım vardır. Birincisi her bir hata şekli (veya nedeni) için gözükme olasılık değerini

belirlemektir. Diğerinde ise olasılık değeri hata nedeni ile onun sonucunda ortaya çıkan hata şeklinin ilişkilendirilmesiyle bulunur. Neden oluşursa hata şeklinin de oluşacağı esas alınır. Bu durumda olasılık değeri, hata nedeni ortaya çıkma olasılığı  $P_1$  ile hata nedeni oluşuktan sonra bunun hata şekline yol açması koşullu olasılığı  $P_{2/1}$ 'in çarpımı ile bulunur (AMDEC, Renault Şirketi).

Hata sıklığını belirlemek için güvenilirlik çalışması esas alındığında, ele alınan bileşenin ömrü boyunca beklenen bileşen hata sayısı (BHS) veya 100 veya 1000 bileşen için birikimli bileşen hata sayısı (BHS/100 veya BHS/1000) gibi ölçü değerlerinden yararlanır. Bunun yanında hata ortaya çıkma olasılığını belirlemede proses yetenek oranı Cpk da kullanılır. Bu oranın büyük olması hata ortaya çıkma olasılığı az olduğunu gösterir.

Hata nedeninin oluşma olasılığı istatistiki yöntemler ve benzer ürünlerden yararlanarak belirlenir. Her bir nedenin, hata şeklinin oluşmasındaki katkısının ise varyans analizi, Taguchi teknikleri, Bayes analizi gibi istatistiksel yöntemlerle veya benzer ürünlerin verilerinden yararlanarak belirlemek olanaklı olacaktır. Veri tabanları oluşturulmamışsa ve hesaplama yöntemleri kullanılmıyorsa, grup üyelerinin deneyimlerinden yararlanılarak olasılık değerlerini kestirmeleri istenir.

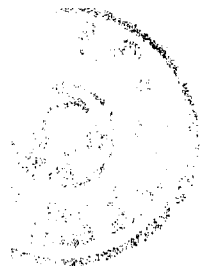
Gözükme olasılıklarına göre hataların sınıflandırılması sınıf sayısı ve sınıfı tanımlayan olasılık değerleri açısından farklı şekillerde yapılmaktadır. Bir sınıflandırma şu şekildedir (MIL-STD 1629A, 1984):

**A Düzeyi, Gözükme Olasılığı Çok Yüksek Hatalar:** Birim işleme zaman aralığında hataların gözükme olasılıkları yüksektir. Tek bir hata şekli için bu olasılık  $> .20$  olarak tanımlanır.

**B Düzeyi, Gözükme Olasılığı Oldukça Yüksek Hatalar:** Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların gözükme olasılıkları ortadır. Tek bir hata şekli için bu olasılık  $> .10$  ve  $< .20$  olarak tanımlanır.

**C Düzeyi, Arasına Gözüken Hatalar:** Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların gözükme olasılıkları küçüktür. Tek bir hata şekli için bu olasılık  $> .01$  ve  $< .10$  olarak tanımlanır.

**D Düzeyi, Oldukça Az Gözüken Hatalar:** Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları çok küçüktür. Tek bir hata şekli için bu olasılık  $> .001$  ve  $< .01$  olarak tanımlanır.



**E Düzeyi, Son Derece Az:** Hataların gözükme olasılıkları birim işleme zaman aralığında sifıra yakındır. Tek bir hata şekli için bu olasılık  $< .001$  olarak tanımlanır.

#### 4.4.3.2. Hata Önemliliği

Önemlilik ile müşteriye yansıyan olası hata sonuçlarının düzeyi değerlendirilir. Hata önemliliği etkiye karşılık gelir ve aralarında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Hatanın etki düzeyi arttıkça önemlilik de artar. Önemlilik derecesini belirlemek için kullanılan veri kaynakları hata etkisini belirlemede kullanılanlarla aynıdır. Hata önemliliğini belirlemek için müşteri anketlerinden, geri dönen ürünlerle ilgili tutulan kayıtlardan, geçmiş dönemlerde benzer ürün veya sistemler için tutulan kayıtlardan, laboratuvar deneyleri veya simülasyon çalışmaları sonuçlarından ve analizi gerçekleştiren kişilerin deneyimlerinden yararlanılır.

Hata şekillerinin olası sonuçlarını, niteliksel bir ölçü ile değerlendirebilmek amacıyla sınıflandırma yapılır. Önemlilik sınıflandırması olarak adlandırılan bu sınıflandırmada analiz edilen her birimin, ürünün veya sistemin hata şeklinin sonuçları kayıp ile ifade edilir. Kayıplar sistemin hasar görmesi, fonksiyonunu yitirmesi, can kaybı, yaralanma şeklinde ortaya çıkar. Kayıp miktar ve çeşitleri, hata etkisinin derecesini belirler. Etki derecelerini belirlemek için aynı zamanda sistemin girdi ve çıktılarındaki kayıpları esas alan tanımlar da kullanılabilir.

Etki derecelerine göre bir örnek önemlilik sınıflandırması şu şekildedir (MIL-STD 1629A, 1984):

##### 1. Sınıf: Felaket Getirici Hata

- Hayat kaybına neden olan,
- Birimin fonksiyonel çıktısında ciddi azalmaya yol açan,
- Sistem veya ürün düzeyinde etkisi gözükken, hata.

##### 2. Sınıf: Kritik Hata

- Çalışanların yaralanmasına neden olan,
- Birimin fonksiyonel çıktısında ciddi azalmaya neden olacak şekilde sistem hasarına yol açan,
- Bakım görevlileri tarafından tamir edilemeyen, hata.



### 3. Sınıf: Küçük Hata

- Birimin fonksiyonel çıktısında küçük etki, çalışanlarda küçük yaralanmaya neden olan,
- Küçük sistem hasarına yol açan,
- Gecikme veya çıktıda çok az azalmaya yol açacak, hata.

### 4. Sınıf: Çok Küçük Hata

- Çalışanların yaralanmasına, sistem bozulmasına yol açacak kadar ciddi olmayan, planlanmamış bakım veya tamirle giderilebilecek, hata.

MIL-STD 1629A esas alan HŞEKA uygulamalarında bu önemlilik sınıflandırması, kritik olan birim veya proses adımını belirlemede yeterli kabul edilir. Burada sadece 1. sınıfı oluşturan felaket getirici hata ve 2. sınıfı oluşturan kritik hatalar ele alınır ve sadece bunların hata nedenleri belirlenir. Diğer iki sınıfta yer alan hatalar kritik olmayan olarak tanımlanır. Şekil 4.1' de verilen HŞEKA akış diyagramı da bu uygulama şeklini gösterir. Kritikliği bu şekilde tanımlamak için HŞEA/HŞEKA tablosuna  $\nabla$  (ters delta) sembolü ile gösterilen bir sütun eklenir. Bu sütuna, her bir hata şekli için kritiklik sözkonusu ise bunu gösteren E (evet), değilse H (hayır) harfleri yazılır.

#### 4.4.3.3. Hata Bulma

Olası hatanın, bir sonraki aşamada veya son müşterinin kullanımı esnasında ortaya çıkacağı varsayıldığından, öngörülen bulma önlemlerinden geçmiş olması gerekir. Bu nedenle, bulma 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.

#### 4.4.3.4. Değerlendirmede Niceliksel Yaklaşım

Niceliksel yaklaşımda, kritiklik sayısının hesaplanmasında kullanılan ve MIL-STD 1629A'da yer alan iki olasılık değeri vardır.  $\alpha$  ile tanımlanan olasılık değerlerinden birincisi, hata şeklinin ortaya çıkma sıklığını verir. Bir birime ait bütün olası hata şekilleri olasılık değerlerinin toplamı bire eşit olacaktır.  $\beta$  ile gösterilen ikincisinin ise farklı iki

tanımı vardır. Bu tanımlardan birincisi, hata şekli ortaya çıktığında sonuçlarının hata etkisini ifade eden sınıflardan birinde yer alması koşullu olasılığı, diğeri ise sistem kaybının olasılığı şeklindedir (McKinney, 1991).

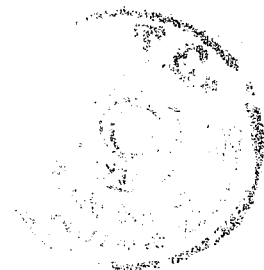
Hata etkisinin kayıplara göre sınıflandırılması ve bu sınıfların olasılık değerleri ile ilgili bir örnek aşağıda verilmektedir:

<u>Hata Etkisi</u>	<u><math>\beta</math> değeri</u>
Kayıp kesin olarak varsa.....	1.00
Kaybın ortaya çıkması olası ise.....	$>.10$ ve $< 1.00$
Kaybın ortaya çıkması olanaklı ise.....	$>0$ ve $= .10$
Kayıp ortaya çıkması olanaksız ise.....	0.0

Kritiklik Sayısının hesaplanmasında yer alan ve  $\lambda$  ile gösterilen birim hata oranları, güvenilirlik analizinde kullanılan oranlarla aynıdır. Bu nedenle, istenen değerler örneğin elektronik parçaların hata oranlarının yer aldığı MIL-HDBK-217 gibi veri kaynaklarından bulunabilir. MIL-HDBK-217'de listelenen parçaların benzerleri için de hata oranları bu kaynaktan seçilebilir. Farklı parçaların hata oranlarının belirlenmesinde ise başka veri kaynaklarından yararlanılabilir (MIL-STD1629A, 1984). Hata oranlarını belirlemenin bir diğeri yolu analizci(ler) nin geçmiş deneyimlerinden ve yargularından yararlanmaktır. Sistemin zorlamasından dolayı oluşacak farkları düzeltmek için hata oranlarına etki ettirilen uygulama faktörü, çevre faktörü gibi faktörler için değerler yine el kitapları ve diğeri kaynaklardan bulunabilir.

#### **4.4.3.4.1. Kritiklik Sayısı'nın Hesabı**

Kritiklik Sayısı (KS), sistemin yeteneği, emniyeti ve çevresini, ayrıca sistemi kurma ve işletme maliyetini, oluşturulan planlarını ve benzeri önemli unsurlarını olumsuz yönde etkileyecek, sistem, alt sistem veya birimlerin hata şekillerini değerlendirmek için hesaplanan değerdir. Aşağıda verilen veya benzer eşitliklerle hesaplanan hata şekli veya birim kritiklik sayıları, risk açısından önemi gösterir. Hata şekillerinin ve birimlerin kritiklik sayısının büyümesi, bunların ürün ve sistem üzerinde etkilerinin artacağını gösterdiğinden öncelikle ortadan kaldırılması veya enazlanması gerekenleri gösterir.



Belirli bir önemlilik sınıfı içinde yer alan bir *hata şeklinin kritiklik sayısı*,  $C_m$ , aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur (MIL-STD 1629A, 1984):

$$C_m = \beta \alpha \lambda_p t \quad (4.1)$$

Burada,

$C_m$  : Bir hata şeklinin birimin kritikliğindeki payını veren hata şekli kritiklik sayısı.

$\beta$  : Hata etkisi olasılığı.  $\beta$ , ortaya çıktığı varsayılan hata şeklinin, hata etkisinin ortaya çıkmasına neden olma koşullu olasılığıdır.

$\alpha$  : Hata şekli olasılığı.

$\lambda_p$  : Birim hata oranı.

$t$  : İşleme süresi. Bu süre genellikle saat veya işleme döngüsü sayısı ile tanımlanan görev uygulama süresidir.

Belirli bir önemlilik sınıfında yer alan bir birim için *kritiklik sayısı*, bu sınıfta yer alan hata şekillerinin kritiklik sayılarının toplamı ile bulunur. *Birim Kritiklik Sayısı*  $C_r$  :

$$C_r = \sum_{n=1}^j (\beta \alpha \lambda_p t)_n \quad n = 1, 2, \dots, j \quad (4.2)$$

ifadesi ile verilir.

Burada,

$C_r$  : Birimin kritiklik sayısı.

$n$  : Birimin hata şekli sayısı.

$j$  : Birimin son hata şekli.

anlamındadır.

Wei (1991), birim kritiklik sayısı  $C_r$ 'nin hesabında işlemsel ve çevresel faktörleri de gözetir. Burada, sistemin çalışması esnasında oluşacak değişimin işlemsel ve çevresel faktörlerin etkisiyle ortaya çıkacağı esas alınır. Bu özelliklerle birlikte  $C_r$  :

$$C_r = K_A K_E \alpha \beta t 10^6 \quad (4.3)$$

olarak verilir.

Burada,

$K_A$  : İşlemsel zorlanmalar sonucu, hata oranı  $\lambda$ 'da oluşacak farkı düzeltmek için işlemsel düzeltme katsayısı.

$K_E$  : Olumsuz çevre koşullarının hata oranı  $\lambda$  üzerindeki etkisini düzeltmek için çevresel düzeltme katsayısı.

$t$  : Saat olarak veya birim işleme döngüsü sayısı ile tanımlanan işleme süresi.





- $\alpha$  : Hata şekli olasılığı.  
 $\beta$  : Hata şekli ortaya çıktığında, hata etkisinin ortaya çıkma koşullu olasılığı.  
 $\lambda$  : Hata oranı (daha çok  $10^6$  saat başına hata sayısı olarak tanımlanır)  
 verir.

Ludwig (1989) ise, elektronik alanında güvenilirlikle ilgili olarak yaptığı çalışmada alıcı sistemlerin kritiklik sıralamasını yaparken çevresel faktörlerin yanısıra güvenilirlik faktörünü kullanır. Oluşturduğu eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$C_r = Q \times P_L \times F \quad (4.4)$$

Burada;

$$Q = 1 - R$$

Q : Güvenilirsizlik faktörü

R : Birimin hata şeklinin güvenilirliği

R =  $e^{-\lambda t}$  bağıntısıyla bulunabildiğinde,

$\lambda$  : Birim hata oranı,

t : Bir yıldaki toplam çalışma saati gösterir.

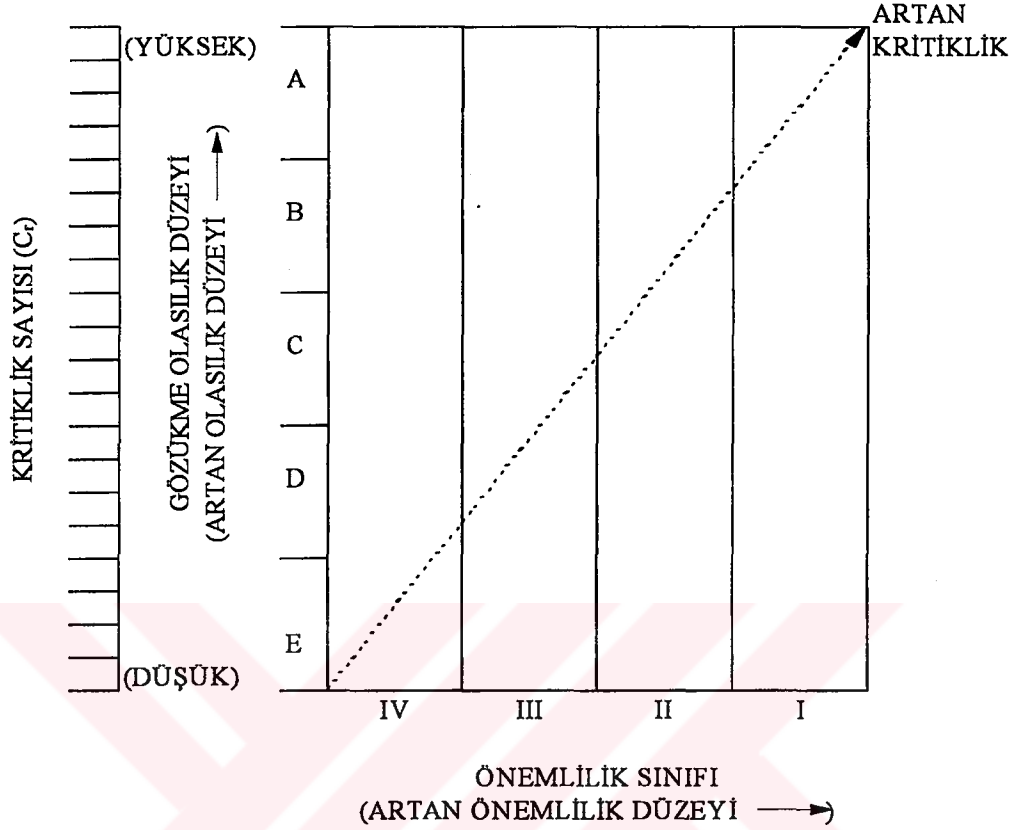
$P_L$  : Birim hata şeklinin etkisinin kayba yol açma olasılığı,

F : Hata şekli sıklık oranı'dır.

Bu eşitlikte, kritiklik sayısı'nı büyüklüğünü etkileyen çevresel faktörler olarak sıcaklık, titreşim, elektro manyetik etkileşim, pozisyon gibi dört ayrı özellik gözönünde bulundurulmuştur.

#### 4.4.3.4.2. Kritiklik Matrisi

Kritiklik sayısı, kritiklik matrisi yardımı ile de belirlenebilir. Kritiklik matrisi hata şekillerinin, hata etkisinin önemlilik değeri ve gözükme olasılık düzeyine göre kritikliklerinin belirlenmesi olanağını sağlar (MIL-STD 1629A, 1984). Matrisin sütunuda artan önemlilik düzeyine göre önemlilik sınıfları, satırında ise orijinden başlayarak yukarı çıktıkça olasılık düzeyleri artan hata sınıfları yer almaktadır. Hata şeklinin kritiklik sayısı, orijinden başlayan köşegen boyunca büyür. Düzeltici faaliyetler de buna göre en üstteki hata şeklinden başlayarak önceliklendirilir. Bu nedenle, kritiklik matrisi düzeltici faaliyet önceliklerinin atanmasını kolaylaştıran bir araç olarak kabul edilir.



Şekil 4.2. Kritiklik Matrisi (MIL-STD 1629A, 1984)

#### 4.4.3.5. Risk Öncelik Sayısı

Risk Öncelik Sayısı (RÖS), kritiklik sayısı göstergesidir. RÖS her bir hata şekli veya nedeni için "önemlilik", "gözükme" ve "bulma" gibi üç risk faktörü esas alınarak belirlenen sayısal değerdir. RÖS değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılıksal olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında atanan değerleri alınır. RÖS ile her bir hata şekli (nedeni) için riskler tanımlandığından en büyük RÖS'ye sahip olandan başlayarak uzun dönemde ortadan kaldırılması kısa dönemde en azlanması için alınacak düzeltici önlemler belirlenir.

Sayısal değer atamada kullanılan sayı aralığının büyüklüğüne ilişkin bir standard yoktur. Bugün uygulamada kullanılan iki aralık 1-5 ve 1-10'dur. 1-5 aralığının kullanılması durumunda yorumlama kolaylığı sağlanmasına rağmen, özel niceliklendirmede duyarlılık sağlanamaz. 1-10 aralığı en yaygın olarak kullanılan aralıktır. Çünkü bu aralık ile yorumlama kolaylığı ve daha doğru sayısallaştırma sağlanmaktadır. 1-10 aralığından

daha büyük aralıkta değerlendirme ile daha fazla doğruluk sağlanmasına rağmen, yorumlama güç olduğundan etkinlik kaybolacaktır. Bu nedenle önerilmez. Bu çalışmada değerlendirme aralığı olarak yaygın kullanım alanına sahip 1-10 alınacaktır.

Sayılar karşılık gelen olasılıklar ve sözel ifadeler ve bunların içerildiği sınıf sayısı, işletmelerin ürün ve kaliteye verdikleri öneme, işletmenin yapısına ve müşteri beklentilerine göre değişiklik gösterir.

#### 4.4.3.5.1. Hata Gözükme Değer Verilmesi

Hata gözükme değerleri, ortaya çıkma olasılıklarının en düşüğü için "1" ve en yükseği için "10" olarak atanır.

Tablo 4.3. Hata Gözükme Değer Verilmesi

<i>Hata Gözükme</i>	<i>Ortaya çıkma olasılığı</i>	<i>Gözükme Değerleri (G)</i>
<i>Çok düşük:</i> Hatanın ortaya çıkması olası değil	[0-1/100000)	1
<i>Düşük:</i> Nispeten birkaç hata	[1/100000-1/10000)	2
	[1/10000-5/10000)	3
<i>Orta:</i> Arasına meydana gelen hata	[5/10000-1/1000)	4
	[1/1000-1/400)	5
	[1/400-1/40)	6
<i>Yüksek:</i> Tekrarlı hata	[1 / 40-1/20)	7
	[1/20-1/8)	8
<i>Çok yüksek:</i> Hata hemen hemen kaçınılmazdır.	[1/ 8-1/2)	10

#### 4.4.3.5.2. Hata Önemlilik Değer Verilmesi

"1" en düşük önemi "10" ise en büyük önemi gösterir. Önemliliğe atanan değer,

- Müşteri tatminsizliği,
- Performansların zayıflaması ve arızanın ortaya çıkma şekli,
- Tamir maliyeti,

gibi olumsuzlukların artışına bağlı olarak büyüyecektir.

Tablo 4.4. Hata Önemlilik Değer Verilmesi

<i>Hata</i>	<i>Müşteriye Etkisi</i>	<i>Önemlilik Değeri (Ö)</i>
Çok küçük hata	Hatanın küçük yapısı ürün veya sistem üzerinde bir etki meydana getirmeyeceğinden müşteri farkına varmaz.	1
Küçük hata	Performansı düşürmez ancak müşteriye hoşnutsuz kılar.	2 3
Orta hata	Performansı düşürücü arıza öncesi belirtiler müşteriye rahatsız olur.	4 5 6
Kritik hata	Aniden ortaya çıkan arızalar ile müşteri üzerinde büyük hoşnutsuzluğa ve tamir masrafına yol açar.	7 8
Felaket getirici hata	Ani arızalar müşteri üzerinde güvenlik problemleri ortaya çıkarır.	9 10

Önemlilik değer atanmasında olasılık değerleri yerine sözel olarak ifade edilen hata etkileri esas alınır. Diğer risk faktörleri gözükme ve bulmanın ölçeklendirmesi ise olasılık değerlerine göre yapılmaktadır.

Bu çalışmada verilen ölçeklendirme tablolarındaki değerler çeşitli kuruluşlarca farklı şekilde oluşturulmuş değerler esas alınarak örnek olarak hazırlanmıştır.

#### 4.4.3.5.3. Hata Bulma Değer Verilmesi

Hata bulma değer verme, hatanın müşteriye ulaşması veya ulaşmaması durumunun esas alınmasına göre iki farklı şekilde yapılır. Örneğin, planlı ve etkin bir şekilde hata bulma yöntemlerinin uygulandığı durumlarda hatanın müşteriye ulaşması olasılığı çok düşük olacaktır. Hata bulma değeri, hatanın müşteriye ulaşma olasılığına göre belirlenirse, en küçük olduğunu gösteren "1" olacaktır. Aynı durum, hatanın müşteriye ulaşmama

olasılığı esasına göre değerlendirilirse bunun en yüksek olduğunu gösteren "10" ile tanımlanacaktır.

Tablo 4.5. Hata Bulma Değer Verilmesi

<i>Hata Bulma</i>	<i>Hatanın müşteriye ulaşma olasılığı</i>	<i>Bulma Değerleri (B)</i>
<i>Çok yüksek:</i> Bütün olası hatalar uygulanan yöntemler ile bulunur.	[ % 0 - %1 )	1
	[ %1 - %10 )	2
<i>Yüksek:</i> Olası hataların bulunma şansı iyidir.	[ %10 - %20 )	3
	[ %20 - %30 )	4
<i>Orta:</i> Olası hatalar uygun yöntemler ile bulunabilir.	[ %30 - % 40 )	5
	[ %40 - %50 )	6
<i>Düşük:</i> Olası hatalar uygun yöntemlerle bulunamayabilir.	[ % 50 - % 60 )	7
	[ % 60 - %70 )	8
<i>Çok düşük:</i> Olası hatalar uygun yöntemlerle bulunamaz.	[ %70 - %80 )	9
<i>Kesinlikle bulunamaz:</i> olası hatalar uygun yöntemlerle bulunamaz veya bu yöntemler mevcut değildir.	[ %80 - %100 )	10

Uygulamada, bulma ölçeklendirmesinin olasılık değerleri yerine uygulanan hata bulma yöntemleri ile bulunma şanslarının çok yüksek, yüksek, orta, düşük, çok düşük, bulunması mümkün değil gibi ifadeler esas alınarak yapıldığı da görülmektedir (Tasarım-FMEA, Ford Motor Şirketi).

RÖS değerlerin bulunmasında yer alan üç faktörün (Önemlilik, Gözükme, Bulma) 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.

#### 4.4.3.5.4. Risk Öncelik Sayısının Hesabı

Risk Öncelik Sayısı (RÖS), *Gözükme (G)*, *Önemlilik (Ö)* ve *Bulma (B)* değerlerine iki farklı matematiksel işlem uygulanması ile hesaplanır:

- Çarpma işlemi ile  $RÖS = G \times Ö \times B$  (4.5)
- Toplama işlemi ile  $RÖS = G + Ö + B$  (4.6)

Ancak uygulama da yaygın olarak kullanılan yaklaşım risk faktörleri olan gözükme, önemlilik ve bulma değerleri, gözükme VE önemlilik VE bulma olduğundan dolayı çarpma işlemi ile RÖS'yi hesaplamaktır. Bu durumda üç çarpandan herbiri için kullanılan değer 1'den 10'a kadar değer aldığından RÖS'nin değeri 1'den 1000'e kadar değişecektir.

RÖS bir olasılık değeri olarak da ifade edilebilir. Bunun için, söz konusu RÖS değerleri 1000 ile bölünmüş olarak işlem görür. Dolayısıyla 0 ve 1 arasında değişecek RÖS değerleri için oluşturulan öncelik sırası 1-10 arasında değerler atandığı durumdaki sıralama ile aynı olacaktır.

RÖS değerinin hesaplanmasında üç risk faktörünün değerlerinin çarpımı yerine toplama işleminin kullanılması da olanaklıdır. Toplama işlemi ile RÖS'nin belirlenmesi birtakım üstünlükler sağlar. Bu üstünlük, kritikliği belirlemede en önemli risk faktörü olan hata önemliliğinin, toplama işlemiyle RÖS değeri üzerinde etkisinin, daha belirgin olarak görülmesidir.

RÖS değerinin hesaplanmasının toplama işlemi ile yapılmasının sağladığı üstünlük önemlilik değerinin, gözükme ve bulma değerine göre daha yüksek olduğu bir örnek üzerinde gösterilebilir (Kara-Zaitri et al., 1991).

Örnekte bir hata şekli için;

Gözükme değeri	= 1	(10 üzerinden)
Önem değeri	= 9	(10 üzerinden)
Bulma değeri	= 1	(10 üzerinden)

olarak verilmektedir.

Bu değerler ile RÖS değeri,

- Çarpma işlemiyle:

$$\begin{aligned} \text{RÖS} &= \text{Gözükme} \times \text{Önemlilik} \times \text{Bulma} & (4.5) \\ &= 1 \times 9 \times 1 = 9 \text{ (1000 üzerinden 9) veya \%0.9} \end{aligned}$$

- Toplama işlemiyle:

$$\begin{aligned} \text{RÖS} &= \text{Gözükme} + \text{Önemlilik} + \text{Bulma} & (4.6) \\ &= 1+9+1 = 11 \text{ (30 üzerinde 11) veya \%37} \end{aligned}$$

bulunur. Önemliliğin büyük değer aldığı hata şekli için hesaplanan iki ayrı RÖS değerinden toplama işlemi ile bulunanın yüzde olarak ifadesi daha büyüktür. Bu sonuç önemliliğin etkisinin toplama işlemi ile bulunan RÖS değerine daha iyi yansıdığını gösterir.

Üç risk faktörüne ölçeklendirilmiş değerler atama işlemi, HŞEA/HŞEKA, bir grup çalışması olarak uygulandığından grubun deneyim ve yargılarına dayanarak yapılır. Bu durumda verilen değerler çalışma grubunun kararı ile belirlenir. Kararlar basit tartışma ve oybirliği sonucu veya Nominal Grup Tekniği gibi daha yapılandırılmış yaklaşımlar kullanılarak verilir (Plsek, 1989). Nominal grup tekniği, üyeleri arasında diğer grup çalışmalarından farklı olarak fazla etkileşim gerektirmediğinden, grup üyelerinin birbirlerini iyi tanımadıkları, fikir ayrılıklarının olduğu durumlarda çok yararlıdır. Değer atamada grup üyelerinin deneyimlerinden ve yargılarından yararlanıldığı durumlarda, her zaman önerilen en büyük sayı, grubun vermiş olduğu değer olarak alınır.

RÖS'nin işlevinin, düzeltici önlemler alınacak hata önceliklerini belirlemek olduğu belirlenmişti. Bunlar, hatalar ortaya çıkmadan önlenmesi veya hataların en küçüklenmesi için verilen önceliklerdir. Önceliklerin oluşturulmasında çeşitli risk faktörleri kullanılabilir. RÖS belirlenmesinde vazgeçilemeyen iki risk faktörü, hatanın gözükme (ortaya çıkma) olasılığı ve önemidir. Ancak, bir HŞEA çalışmasında, grup üyeleri önceliklerin oluşturulmasında bu iki faktör dışında başka faktörleri de göz önünde bulundurmak isteyebilir. Bu faktörler şunlar olabilir:

- Hatanın, müşteri beklentilerindeki etkisi,
- Hatanın iç maliyetlerdeki etkisi,
- Çalışanların tecrübesiz olması olasılığı,
- Hatanın işletmenin diğer proseslerindeki etkisi.

Faktörlerin kaç tane olacağına ve hangi faktörlerin kullanılacağına çalışma grubu karar verir. Çoğu zaman ikiden fazla faktör ele alınır. Bu faktörler, farklı önemlere sahip olduklarından, faktörlerin önemlerini belirlemede genellikle ağırlıklandırma yöntemi kullanılır. Sonra, faktörler birleştirilerek, tek öncelik sayısı bulunur.

Örneğin, Plsek (1989) risk önceliğini belirleyen sayıyı belirlemek için herbiri en düşük 1 en yüksek 5 değerinin verildiği 1-5 sayı aralığında değer alan üç risk faktörünü esas alır.

Bu risk faktörleri:

- Gözükme olasılığı,
- Son müşteri üzerindeki hata etkisi,
- İç maliyetlerdeki hata etkisi

şeklinde. Bu durumda, üç faktör:

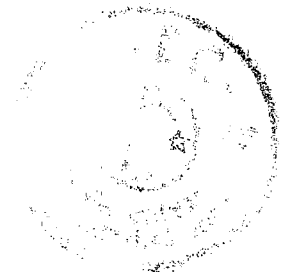
$$\text{Öncelik Sayısı} = \text{Gözükme Olasılığı} \times (\text{Müşteri etkisi} + \text{Maliyet etkisi}) \quad (4.7)$$

şekilde değerlendirilir. Bu eşitliğe göre risk öncelik sayısı, 2'den 50'ye kadar değişir.

RÖS belirlenmesinde, olası hata şekli veya hata nedenleri esas alınır. RÖS'nin hangi esasa göre belirleneceği değerlendirme aşamasında belirlenir. Verilecek karar işletmenin beklentilerine ve organizasyon yapısına bağlı olacaktır. Her bir hata şekli bir veya birden fazla hata nedeni sonucu ortaya çıkacağı için, hata nedenlerini esas alan değerlendirme daha uzun zaman alacak, ancak daha olumlu sonuç verecektir. Çünkü düzeltici önlemler olası hata nedenlerine göre belirleneceği için, birden fazla hata şekline yol açan bir hata nedeninin ortadan kaldırılması birçok hata şeklinin ortaya çıkmasını önleyecektir. Hata şekillerine göre öncelikleri belirleme ise zamanın kısıtlı olduğu durumlarda sonuca ulaşmada hızlilik sağlamak için istenir.

Bu yöntemin uygulanmasına ilişkin bir örnek tablo 4.6'de verilmiştir.

Örnekte, bir çamaşır makinasının motorunun sabitleştirilmesinde kullanılan bağlantı parçası olan destek elemanı ele alınmakta ve proses-HŞEKA uygulanmaktadır. Uygulanacak yaklaşımda, hata şekli yerine hata nedeni esas alınmaktadır. Tablodaki değerler daha önce verilen değer verme tablolarından yararlanılarak belirlenmiştir. RÖS değerleri çarpım kuralına göre belirlenmiştir. İşlemler sonucunda RÖS sayısının büyüklüğüne göre, öncelik verilecek hata nedenlerinin Tablo 4.7'deki gibi sıralandığı görülür.





Tablo 4.6. HŞEA/HŞEKA Tanıtıcı Örnek

Parça/ Proses	Parça/ Proses Fonksiyon	Olası Hata Şekli	Olası Hata Etkisi	Olası Hata Nedeni	Mevcut Önlemler	G ö z ü k	Ö n e m	B u l m a	RÖS
P1 Destek	F1 Motoru Destekleme	HŞ1 Destekte eğilme sonucu motorun aşağıya kayması	E1 Tamir masrafı oluşur	N1 Yanlış malzeme kullanma	Gözle kontrol	3	8	3	72
				N2 Çok ince malzeme	Ölçüm	2	8	7	112
				N3 Aşırı servis yükü	Deneyler	8	8	9	576
		HŞ2 Lastik çekilmesi sonucu aşırı motor hareketi	E2 Hoşnut- suzluk oluşturur	N4 Yanlış malzeme kullanma	Gözle kontrol	2	6	2	24
				N5 Aşırı servis yükü	Deneyler	7	6	9	378
				N6 Yanlış yıkayıcı kalınlığı	Ölçümler	2	6	8	96
				HŞ3 Destek'in korrozyona uğraması sonucu motorda aşırı titreşim	E3 Müşteriyi zor durumda bırakır.	N7 Yetersiz koruyucu malzeme ile kaplama	Deneyler	3	5
		HŞ4 Destek'in korrozyona uğraması sonucu kötü görünüş	E4 Kötü Görünüş	N7 Yetersiz koruyucu malzeme ile kaplama	Deneyler	3	2	8	48

Tablo 4.7. Örneğin Risk Öncelik Sayısı Sıralanışı

Hata Nedenleri	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)
N3	576
N5	378
N7	120
N2	112
N6	96
N1	72
N7	48
N4	24

Aynı RÖS değerine sahip birden fazla hata nedeni (şekli) olduğunda değerlendirme önce en yüksek önemliliğe, ikinci olarak en yüksek bulmaya göre yapılacaktır (Stamatis, 1995a)

#### 4.4.3.5.5. Risk Öncelik Toplamı

Bir bileşen veya fonksiyonun risk önceliği, hata şekillerinin RÖS'lerinin toplamı ile bulunur ve Risk Öncelik Toplamı (RÖT) olarak tanımlanır. Burada RÖS, hata şekli kritiklik sayısı olarak tanımlandığında RÖT de birim kritiklik sayısına karşılık gelir. Benzer şekilde HŞEA/HŞEKA olası hata nedenlerine göre yapılıyorsa, bir hata şekline ait nedenlerin RÖS toplamı, hata şeklinin RÖT'sini verecektir.

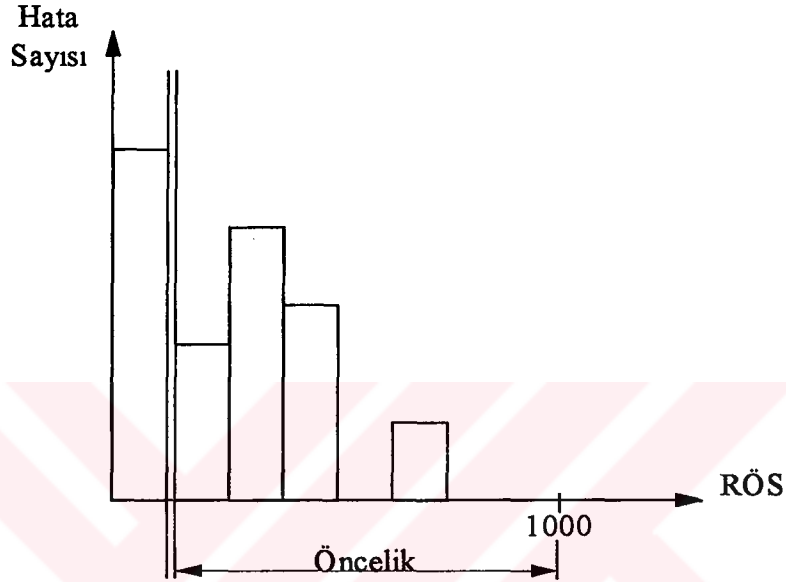
Bazı özel durumlarda RÖS'lerin toplamı yerine,

- En yüksek RÖS veya
  - Çok sayıda olan, düşük RÖS,
- RÖT olarak alınabilir (Kara-Zaitri et al., 1991).

#### 4.4.3.6. Risk Öncelik Sayısını Değerlendirme

Analizi yapılan ürün veya sistemin öngörülen kalitesi hakkında genel bir fikir edinmek için RÖS'lerden yararlanılır. RÖS değerlendirmede şekil 4.3'de gösterilmekte olan bir histogramdan yararlanılması kolaylık sağlar. Ayrıca gerçekleştirilecek iyileştirme

çalışmalarının izlenmesi de kolaylaşır. Histogramda RÖS değerine göre sınıflandırma yatay ekseninde, sınıf aralıklarına karşılık gelen hata sayıları dikey ekseninde yer alır. Histogram üzerindeki çift çizgi ile gösterilen eşik değerinin sağ tarafında kalan hatalar en fazla risk taşıdığı için öncelikle ele alınması gerekenlerdir. Alınacak önlemler ile bu tür hataların RÖS'leri eşik değerinin altına çekilmeye çalışılır.



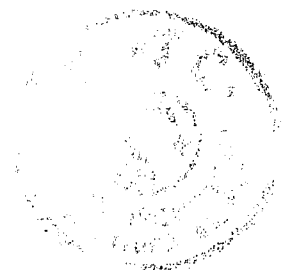
Şekil 4.3. Hata Değerlendirme Histogramı

*Küçük, orta, yüksek ve çok yüksek* gibi sınıflandırılan risk esas alındığında RÖS'lerin bir niteliksel değerlendirmesi şu şekilde yapılabilir:

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

RÖS'nin niceliksel sınıflandırmalarının değişik şekillerde yapıldığı görülmektedir. Örneğin bir diğer uygulamada değerlendirme şu şekilde yapılır (Tasarım-HŞEA, Ford Motor Şirketi):

- RÖS=1000 ise risk yüksek
- RÖS=125 ise risk orta
- RÖS=1 ise risk yoktur.



Aynı uygulamada RÖS değerlerine göre düzeltici önlem alma kararları ise:

- RÖS<40 ise önlem almaya gerek yoktur
- $40 \leq RÖS \leq 100$  önlem alınmasında fayda vardır
- RÖS $\geq 100$  ise mutlaka önlem alınması gerekir şeklinde verilir.

Bir başka uygulamada 100 RÖS değeri eşik değer olarak kabul edilir (AMDEC, Renault Şirketi). Bu durumda:

- RÖS $\geq 100$  olan hatalar düzeltici önlem alınması gereken risk taşıyan hatalardır. 100'ün üzerindeki en büyük değer en fazla risk taşıyacağından öncelikle ele alınacak hatayı verir.

RÖS eşik değeri, istatistiksel güven aralığı ve risk faktörlerine değer verme için kullanılan sayı aralığına göre hesaplanır. Örneğin 1-10 sayı aralığında değerlendirme durumunda hataların %90'ının tasarım, proses, sistem için çok kritik olduğu tanımlansın. RÖS'nin alacağı en büyük sayı 1000 olduğundan, 1000'nin %90'ı 900 bulunur. Buradan eşik değeri  $1000-900=100$  olarak alınır. Böylece RÖS'si 100 ve 100'ün üzerinde olan hatalar kritik ve düzeltici önlemler alınması gerekenler olarak tanımlanır.

Benzer şekilde 1-10 sayı aralığında değerlendirme durumunda %99 istatistiksel güvenle eşik değeri 10 olacaktır. 1-5 sayı aralığında değerlendirmede ise eşik değeri büyük değişiklik gösterecektir. En büyük RÖS 1000 yerine 125 ( $5 \times 5 \times 5$ ) olacağından, %90, %95 ve %99 güvenle eşik değerleri sırasıyla 13, 7, 2 olacaktır (Stamatis,1995b).

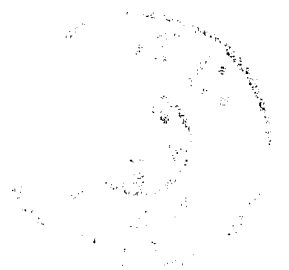
Düzeltilici önlemler ile ilgili kararlar verilmesinde yararlanılan farklı değerlendirme kıstasları ile ilgili diğer örnekler aşağıdaki gibidir (KOGEM, 1995):

- Önemlilik değeri ve RÖS'lerinin karşılaştırılmasına göre:
 

Önemlilik değeri 9/10	RÖS>40
Önemlilik değeri 7/8	RÖS $\geq 100$
Önemlilik değeri 4/5/6	RÖS $\geq 120$
Önemlilik değeri 1/2/3	RÖS $\geq 150$

Bazı uygulamalarda ise sadece;

- Hata nedenlerinin içersinden grup ortak kararıyla en yüksek %25 RÖS'ye sahip olanlar düzeltici önlemler alınması gerekenler olarak seçilir.



#### 4.4.3.7. Düzeltici Önlemler

Düzeltici önlemler, olası hata şekillerini veya nedenlerini ortadan kaldırmak veya olumsuz etkilerinin en küçüklemek için tasarım, üretim süreci, malzeme veya üretim yöntemi gibi çeşitli unsurlarda yapılacak değişikliklerdir. Düzeltici önlemler ile RÖS değerleri aşağıya çekilmeye çalışılır.

RÖS'nin küçültülmesi, önemlilik, bulma ve gözükme gibi risk faktörlerinin atanan değerlerinin küçültülmesiyle gerçekleştirilir.

Hata gözükme faktörü ele alındığında, hatanın ortaya çıkma olasılığı birtakım önlemler ile azaltılabilir. Örneğin:

- Planlar, şartnameler,
- Üretim yöntemleri, üretim akış yöntemleri,
- Organizasyon,
- Tasarımlar,
- Çevre ve koruma koşulları, vb

üzerinde değişiklikler yapılarak hatanın ortaya çıkma olasılığı, dolayısıyla RÖS küçültülebilir.

İkinci faktör olan önemlilik ise ancak ürün veya sistem tasarımı üzerinde değişiklikler yapılarak azaltılabilir. Alınacak bu tür önlemler ürün veya sistem oluşturulmadan önce yapılan çalışmalarda yer alarak önemlilikler azaltılmalıdır. Bazı durumlarda önemlilik derecesinin değiştirilemeyeceği düşünülür. Örneğin bir ürün kullanıcısı ürün hatasından dolayı yaşamını yitirmişse, bu sonucu değiştirmek olası değildir denir.

Hata bulma değeri, hata bulma olanakları uygulayarak veya var olan olanakları iyileştirerek azaltılır. Hataların müşteriye ulaşma olasılığını küçültmek için şunlar yapılabilir:

- Kontrol sıklıkları artırılır.
- Kontrol yönteminin güvenilirliği artırılır.
- Uygun olmayan parçaların bir sonraki müşteriye ulaşmasını önleyecek fiziksel olanaklar sağlanır.



RÖS değerini en küçükleme çalışmalarında, aşırı çabalar aşırı maliyet getireceğinden maliyet hedefi gözönünde bulundurulmalıdır.

Karar vericiler, düzeltici uygulamaları gerçekleştirecek kişileri ve bunları ne kadar sürede uygulamaya koyacaklarını belirler. Düzeltici önlemlerin uygulamaya konması, analizin dinamik aşamasını oluşturur. Sonuç olarak, çözüm arama veya düzeltici önlemler önerme ortaya çıkabilecek hata nedenlerine çare bulma olarak tanımlanır.

#### ***4.4.5. İzleme-Uygulama***

HŞEA/HŞEKA tekniğinin bu adımı, öngörülen düzeltici önlemlerin, yeterli etkinlikte uygulamaya alınıp alınmadıklarının doğrulanması ve yeni sonuçların incelenmesi ve değerlendirilmesi aşamasıdır. Düzeltici önlemlerin devreye alınması açısından büyük önem taşır. Bu aşamada kritik RÖS değerleri ortadan kaldırılıncaya kadar çözümler incelenir ve değerlendirilir.

İzleme işlemi ile şunlar sağlanır:

- Düzeltici önlemlerin kesinlikle alınması sağlanır.
- RÖS düzeylerinin azaltıldığı doğrulanır.
- Gerçekleşen iyileşmeler korunur.

Oluşabilecek hata nedenlerini önleyebilmek için düşünülmüş yeni önlemler, izleme aşamasından sonra ilgili kişilerce uygulamaya alınır. Uygulama aşamasında plan, proses akış diyagramları, imalat araçları, organizasyonda öngörülen değişiklikler gerçekleştirilir.

#### ***4.4.6. Doğrulama***

Herşey yolunda gidiyor diyebilmek için gerçekleştirilmesi gereken analizin en son aşamasıdır. Doğrulama amaç, düzeltici önlemlerin uygulandığını doğrulamak ve yeni oluşan hataları belirlemektir. Doğrulama amaç :

- Ürünün üretimine geçilmeden önce düzeltici önlemlerin uygulanmasının doğrulanması,
  - Sistemin, zaman içinde değişime uğramadığının doğrulanması
- olmak üzere iki çeşittir.

Ayrıca uygulamaya alınan önlemlerin, öngörülen önlemler ile uyum gösterip göstermediklerinin doğrulanması da yapılabilir.

HŞEA/HŞEKA uygulaması esnasında kullanılan bilgilerin yer aldığı tablolar, amaçlar, bütün kabul ve koşullar, sonuç ve öneriler gibi analizle ilgili bütün herşey raporlanmalıdır. Bu HŞEA/HŞEKA raporları, ilgili birim ve kişilere sonraki çalışmalarda kaynak olması amacıyla dağıtılmalıdır.

Tamamlanmış HŞEA/HŞEKA yazılı belgeleri bir çekmecede unutulup kalmamalı, yaşayan döküman olmalı, sürekli güncelleştirilmelidir. Bu tekniğin en olumlu özelliği, güçlüğünün bir ürün veya sistem için bir kez hazırlandıktan sonra sona ermesidir. Böylece bundan sonraki yeni ürünler için yapılacak çalışma, sadece mevcut ürünler için yapılmış çalışmaların güncelleştirilmesi ve değiştirilmesi şeklinde olacaktır. Uygulamada ise işletmelerin sadece tasarım hatalarıyla karşılaştıklarında ya da ürün veya proste bir değişiklik olduğunda analizi güncelleştirdikleri görülmektedir. Ancak güncelleştirmenin, şikayetler olduğu, hatalar ve sorunlar tanımlandığı, yeni makina kullanımı söz konusu olduğu, proses geliştirme faaliyeti, bir işgören eklendiği, ürüne ve makinaya yeni özellikler katıldığı zaman da yapılması gerekir. İşletmelerin HŞEA/HŞEKA'yı güncelleştirme çalışmalarından kaçındıkları görülmektedir. Bunun nedeni kağıt üzerinde çalışmaların güç olmasıdır. ancak, son yıllarda artan bilgisayar kullanımı bu sorunu gidermektedir.

#### ***4.5. HŞEA/HŞEKA'nın Tablo ile Gösteriminde Ortaya Çıkan Sorunlar***

HŞEA/HŞEKA'nın yazılı belgeler haline getirilmesinde genellikle özel bir şekile getirilmiş tablolar kullanılmaktadır. Ancak, sistemlerin ayrıntılı analizleri sırasında bu tablolarının kullanımında bazı sorunlarla karşılaşılır. Bu sorunlar şu şekilde sıralanabilir (Kara-Zaitri et al., 1991):

- Yöntem, çoğu zaman sistem veya ürünü bir bütün olarak ele alıp hata şekilleri ve etkilerini modüler esaslarda belirlemek yerine, daha ayrıntılı olarak bileşen, alt-sistem esaslarda ele alır. Bu durum tablolarla ayrı modüller ve/veya ayrı düzeylerde yapılan analizleri bir araya getirme güçlüğünü ortaya çıkar. Bir modül, bileşen veya alt-sistemlerin bir doğal gruplaması olarak tanımlandığında, bu sorun özellikle karmaşık sistemler gözönüne alındığında önemli olmaktadır.

- Hata şekilleri, nedenleri ve etkileri için düzeltici önlemlerin oluşturulmasında sözcükler ile ilgili sorunlar ortaya çıkar. Bir sözcüğün, tablonun bir satırında hata nedeni, diğerinde hata şekli olarak yer alması karışıklığa yol açar. Örneğin, sözcük bileşenle ilgili olduğu zaman bir etki ve montajla ilgili olduğu zaman bir hata şekli olarak görülebilir.
- Tablolara sonuçların izlenmesi güçtür. Özellikle, hata şeklinin nedenleri veya etkilerini izlemek ve/veya birbirleriyle ilgi kurmada zorluk yaşanır.

#### 4.6. HŞEA/HŞEKA'nın Matris Şekli

Sistemlerde, ürünlerde ortaya çıkacak olası hatalarla ilgili bütün niteliksel ve niceliksel bilgiyi bir arada göstermenin bir diğer yolu matris şekli oluşturmaktır. HŞEA/HŞEKA'nın matris şeklinde gösterimi, tablo kullanımıyla ortaya çıkan sorunların hepsini olmasa da bir kısmını gidermek amacıyla geliştirilmiştir. Matrisle bilgi gösterme fikri ilk olarak Barbour (1977) ve Legg (1978) tarafından geliştirilir ve elektronik endüstrisinde uygulanır. Fakat bu oluşturulan matriste hata nedenlerini, ortaya çıkma ve hata bulma için atanan değerleri bir arada görmek mümkün değildir. Kara-Zaitri ve arkadaşları (1991), bu eksikliği gidermek için yeni bir matris şekli oluştururlar. Yeni oluşturulan matris, hata şekilleri, nedenleri ve etkileri arasındaki ilişkilerin bir resimsel gösterimi niteliğini taşır.

Kara-Zaitri ve arkadaşlarının geliştirdiği matris, önceki bölüm 4.4.3.5.4.'de verilen örnek yardımıyla Tablo 4.8'de tanıtılacaktır. Örnekte, basitlik sağlamak amacıyla hata şekilleri HŞ, nedenler N ve etkiler E ile gösterilir.

Matrisin şekilsel yapısı şu şekildedir:

- Hata etkileri matrisin üstünde azalan önem seviyesinde sütunlarda,
- Hata nedenleri, gözükme ve bulma değerlerin çarpım sonuçları satırlarda azalan sırada listelenir.

Bu sıralama işlemi, problem alanlarını belirlemeyi kolaylaştırır. Matristen, her bir hücre için RÖS'lerin nasıl hesaplandığı açıkça görülmektedir. Kullanılan sıralamayla, yüksek önemlilik, gözükme ve bulma değerlerine sahip kritik neden matrisin sol üst köşesinde yer alır. Bu örnekte, üç önemli hata nedenleri HŞ1 ile ilgili N3, HŞ2 ile ilgili N5 ve HŞ3 ile ilgili N7'dir.



Tablo 4.8. HŞEA/HŞEKA'nın Matris Gösterimi

		Azalan Önemlilik →				
		Etkiler	E1 8	E2 6	E3 5	E4 2
Önemlilik Nedenler	Göz x Bul					
		N3	8 x 9	HŞ1 (576)		
N5	7 x 9		HŞ2 (378)			
N7	3 x 8			HŞ3 (120)	HŞ4 (48)	
N6	2 x 8		HŞ2 (96)			
N2	2 x 7	HŞ1 (112)				
N1	3 x 3	HŞ1 (72)				
N4	2 x 2		HŞ2 (24)			
RÖT		760	498	120	48	

Matris gösteriminin sağlayacağı üstünlükler şunlardır (Kara- Zaitri et al., 1991).

- Birimle ilgili bütün ilgili niteliksel ve niceliksel bilgiyi matriste depolama olanağı çoktur.
- Önemlilik, gözükme ve bulma sıralandığından, pek çok kritik neden hızla bulunur. Ancak buna rağmen bütün faktörler matriste açıkça görüldüğünden RÖS bulma işlemi gereksiz görülebilir.
- "9" veya "10" önem değerli hata şekilleri, hemen düzeltici önlemler alınması için matristen kolaylıkla seçilebilir.
- Her bir hata şekline neden olan nedenlerin sayısı matristen izlenebilir.

Matris şekli kullanmanın sağladığı yararları şunlar eklenebilir (Kara-Zaitri et all 1991):

- Otomasyona daha iyi uyar.
- Hiyerarşik analiz kolaylıkla yapılır.
- Hata şekilleri, nedenleri ve etkilerinin tümü kolaylıkla izlenir.
- Hata tanısı koyma aracı olarak kullanılır.
- Müşteri şikayetleri aşağı bileşen seviyelerine doğru izlenir.



#### **4.7. HŞEA/HŞEKA Kullanım Alanları**

HŞEA/HŞEKA tekniğinin, en yaygın kullanım alanının üretimle ilgili olduğu bilinmektedir. Bir ürünün, ilk adımı olan tasarımın düşünce aşamasından başlayarak, diğer tasarım aşamaları, imalat hazırlık, üretim ve test etme gibi bütün aşamalarına uygulanır. Etkin bir üretim planı ve kalite planı hazırlama isteği tekniğin her adımda kullanımını zorunlu hale getirmektedir.

Bu yöntemin, ürün kalitesinde iyileşme, müşteri tatmininde artış, proses geliştirme, ürün güvenilirliğini arttırma, ürün tasarımını geliştirme, ürün sorumluluğu ile ilgili yaptırımları yerine getirme, emniyet geliştirme, ürün geri dönüşlerini ve garanti masraflarını azaltma gibi nedenlerle kullanılması, doğrudan üretimle ilgili olmayan alanlarda da uygulanmasını gerekli kılar. İşletmelerin bu alanlarda faaliyetlerinin bir parçası olarak HŞEA/HŞEKA'yı uygulamaları Toplam Kalite Yönetimi'nin etkinliğini arttıracaktır. Bu yöntemin üretim dışında uygulandığı faaliyet alanları şunlardır:

- Depolama ve taşıma
- Muhasebe
- Mühendislik
- Bakım
- Paketleme ve depolama
- Kalite izleme tekniğini inceleme işlemleri.

MIL-STD 1629A'da da bu yöntemin bilgisayar yazılımı hariç fonksiyonellik ve donanımla ilgili bütün sorunlara uygulanabileceği belirtilmektedir. Ancak gelişmeler HŞEA/HŞEKA'nın herhangi bir işletmedeki, herhangi bir soruna uygulanabileceğini gösterir.

#### **4.8. HŞEA/HŞEKA'da Bilgisayar Kullanma Olanakları**

HŞEA/HŞEKA uygulamasında bilgisayar programı kullanma zorunluğu yoktur. Herhangi bir yazılım programı olmadan da bu yöntem uygulanabilir. Ancak bilgisayar programları kullanmanın sağladığı birçok yarar vardır. Bu yararlardan birtanesi HŞEA/HŞEKA'nın el ile yazılı hale getirilmesinde karşılaşılan bazı olumsuzluklar giderilmiş olur.



Bu olumsuzluklar şunlardır (Coker et al., 1989):

- Çok fazla işgücü kullanmaya gereksinim duyulur.
- Güncelleştirme güçtür.
- Benzer ürünler için HŞEA yazılı belgelerinin kaynak olarak kullanılmasında güçlüklerle karşılaşılır.
- Yazılı belgeler mühendisin el yazısı ile oluşturulduğunda okunma ve dolayısıyla anlaşılması zor, daktilo ile yazılmasında ise esneklik azdır.

İşletmelerin bu yöntemin uygulanmasında bilgisayar programı kullanma amaçlarından biri uygulama sürecini yazılı hale getirme işlemini otomatikleştirmektir. Bir diğer amaç ise, işletmelerin çok az bilgisayar bilgisine sahip mühendisleri tarafından kolaylıkla kullanabileceği ve verilerin doğru olarak kaydedildiği veri tabanını oluşturmaktır.

Bu amaçları gerçekleştirmek amacıyla işletmelerin kendi uygulamaları için geliştirmiş olduğu yazılım programları vardır. Bunun yanında ticari amaçla geliştirilmiş iki yazılım programı (Stamatis, 1995b):

- İş Sistemleri Mühendislik Grubu isimli şirket tarafından geliştirilmiş olan *formuser*
  - Ford Motor Şirketi tarafından geliştirilmiş olan *FMEAPLUS*
- işletmeler tarafından çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tür yazılım programlarında, bilgiler tekniğin klasik uygulamasında olduğu gibi HŞEA/HŞEKA tablosunda yer alır. Veriler tablonun sütunlarında yer aldığından her sütun, veri kayıt alanı olarak kullanılır. Başka alanlardaki çeşitli raporlar da programa eklenebilir. Veri girişleri doğrudan alan veya menü yaklaşımı kullanılarak yapılır.

HŞEA/HŞEKA için geliştirilmiş olan bir yazılım, genel olarak aşağıdaki işlemleri yapar:

- HŞEA/HŞEKA dökümanını yazdırır/güncelleştirir.
- RÖS ve RÖT'yi hesaplar.
- Tekrarlı hata şekillerini, nedenlerini, etkilerini ve mevcut önlemleri programda daha sonra yazılmak üzere saklar.
- Hata şekilleri için histogram çizer.
- Hata nedenlerine göre hesaplanan RÖS değerleri için histogram çizer.

Bilgisayar kullanmanın sağladığı yararlar ise şunlardır (Coker et al., 1989):

- Analizi yazılı hale getirme zamanı son derece azalır.



- Yazılı belgeler, çok miktarda kağıt çalışması istenmeden güncelleştirilir.
- Yöntemin uygulanması sonucunda elde edilen bilgilerin yazılı belge olarak gösterimi artar.
- Benzer ürünler için HŞEA/HŞEKA yazılı belgeleri daha çok yararlanılan kaynaklar olur.
- Başlangıçta, çok fazla kırtasiyecilik, dolayısıyla zaman içerdiği için bu yöntemi kullanmada isteksizlik gösteren mühendislerin, bilgisayar programlarının tanıtılmasıyla yöntemi kullanma istekleri artar.
- Bakım, güvenilirlik gibi çeşitli konularda çalışma yapan grupların oluşturulan veri tabanına ulaşmaları kolaylaşır.

Sonuç olarak bilgisayar programıyla sağlanacak en büyük yararın yöntemin güvenilirliği ve hızlılığını arttırmak olduğu söylenebilir. Örneğin, Coopers Filter Limited şirketinde HŞEA uygulamalarında bilgisayar kullanılması sonucunda yazılı hale getirmek için harcanan zamanda %90'lık bir azalma elde edilir (Coker et al., 1989). Kazanılan bu zaman, mühendislerin yaratıcılık gibi başka alanlarda faaliyetlerini sürdürme olanağı sağlar.

HŞEA/HŞEKA için geliştirilen bilgisayar programları hem tasarım hem de üretim aşamalarında kullanılabilir. Geliştirilen program, tasarım için uygulandığında Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) programıyla birlikte çalıştığı zaman çok daha iyi sonuç alınacaktır. Bu durumda kullanıcı hem HŞEA/HŞEKA'yı, hem de tasarımı aynı anda yapabilecektir.

Son yıllarda HŞEA/HŞEKA'nın otomasyonunda, uzman sistemler yaklaşımının önem kazandığı görülmektedir. Başlangıçta oluşturulan ilk uzman HŞEA/HŞEKA sadece ele alınan sistemin modelini ve onun her bir bileşeni için hata şekilleri listesini kullanarak, bütün bileşen hatalarının sistem üzerindeki etkisini otomatik olarak belirlemektedir (Pugh et al., 1994). Ancak bu alandaki çalışmalar sonucunda, hem hata etkilerini hem de kritik bileşenleri belirleyen tamamen otomatikleştirilmiş HŞEA geliştirilmiştir (Price et al., 1995). HŞEA/HŞEKA'ya uzman sistemler uygulanması ile, sistemdeki bütün olası hata şekilleri tek tek değerlendirildiğinden dolayı zaman alıcı ve sıkıcı olduğu ve veri tabanı olmadığında uzman bilgisi istiyor olması şeklinde yapılan eleştiriler ortadan kalkacaktır (Hunt et al., 1995).



#### 4.9. HŞEA/HŞEKA'nın Sağladığı Yararlar

Mükemmeli arama tekniği olan HŞEA/HŞEKA uygulandığı işletmeye, mühendislere ve çalışanlara ayrı ayrı pek çok yarar sağlar.

Bu yöntemin işletmeye sağladığı yararlar ancak HŞEA'nın şirket felsefesi olarak benimsenmesiyle kazanılacaktır. Yöntemin işletmeye sağladığı yararlar şu şekilde özetlenebilir:

- Sürekli iyileştirme olanağı.
- "Sıfır hata"ya ulaşma isteklerini gerçekleştirme.
- Makina alımlarına ayrılan sermaye yatırımlarında azalma.
- Farklı alanlarda kullanılacak bilgiler kazanma.
- Kalite güvencesini oluşturmaları için zorlama
- Hata maliyetlerinde azalma.

HŞEA/HŞEKA ile olası hataların ortadan kaldırılması veya en azküçüklenmesi ürün veya sistemin *sürekli iyileşmesini* ve *sıfır hata* hedefine ulaşılmasını sağlar.

HŞEA/HŞEKA'nın işletmelere sağladığı en önemli yararı *çeşitli alanlarda yararlanılacak bilgileri sağlamasıdır*. Teknik esasen güvenilirlik analizi ile ilgili olmasına rağmen, sağlanan bilgiler üretim planlama, bakım planlama, kalite faaliyetleri planlama, insan kaynakları planlama, eğitim planlama, emniyet analizi alanlarında kullanılır.

Örneğin, belirlenen hata şekli ve özellikleri, teknik spesifikasyonlar ve tasarım koşulları gibi sistem veya sistemin bileşenine ait güvenilirlikle ilgili bilgiler, önleyici bakım planlarında önceliğin belirlenmesi ile ilgili kararların verilmesini kolaylaştırır (Shimizu et al., 1993).

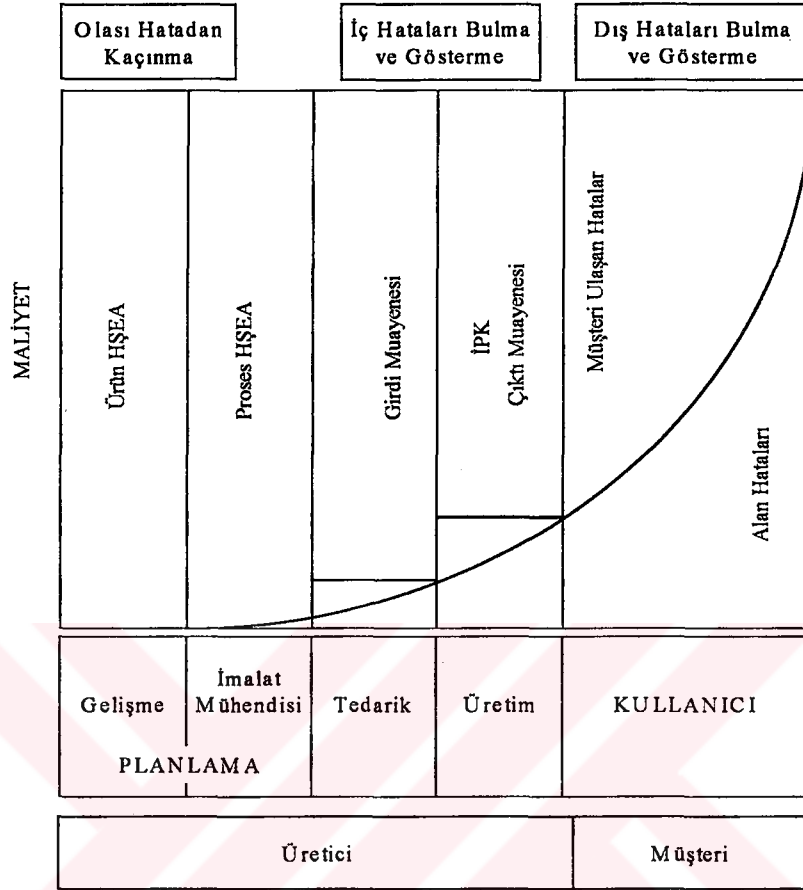
HŞEA işletmeler için etkin bir *kalite planlama aracıdır*. Kalite planlamasında, ilgili bölümler arasındaki yazılı belge ve bilgi akışlarında hatalar ortaya çıkabilir. Güncellenmemiş listelerin dağıtılması, listelerdeki yanlışlar gibi ortaya çıkabilecek hata şekilleri HŞEA/HŞEKA uygulanarak ortadan kaldırıldığında, etkin bir kalite planlama sağlanmış olur (Plsek, 1989).



Yöntem ile sağlanan bilgilerin etkin olarak kullanıldığı bir diğer önemli alan ise *proses kontrol planlamadır*. Proses-HŞEA yazılı belgelerinde yer alan kritik birimler listesi, proses kontrol çalışmalarında kullanılan çok yararlı bilgileri oluşturur. Kontrol düzeyleri RÖS'ye uygun olarak az veya çok şeklinde belirlenir. Böylece HŞEA'dan yararlanarak hazırlanan kontrol planı daha hızlı oluşturulur ve üretim sürecinin istemlerini daha iyi karşılar (Sansoucy and Webster, 1990).

Hatalar genellikle muayene ve testlerle bulunacağı için HŞEA/HŞEKA tekniği işletmeleri *kalite güvencesi sistemi* oluşturmak için zorlar. Çünkü, etkin bir muayene yöntemi veya test olmadığında muayenecinin hata şeklini belirlemesi zordur. Muayeneler (girdi, proses-içi ve çıktı) ve test uygulama süreçleri kalitenin planlanması için ölçüt sağlarlar. Bu tür kalite güvencesi faaliyetleriyle hatalar belirli bir oranda azaltıldığında, RÖS değerleride azalacaktır. Buradaki azalma miktarı, seçilen kalite güvencesi faaliyetine (%100, indirgenmiş ve sıklaştırılmış muayene vb.) göre değişecektir (Bluvband ve Friedman, 1989). Kalite Güvencesi ve HŞEA/HŞEKA arasında ilişki karşılıklıdır. İşletmelerin kalite güvencesini oluşturmaları için bu yöntemi uygulamaları gerekir. Bu amaçla TS-ISO 9003 standardında (Son Muayene ve Deneylede Kalite Güvencesi Modeli) tasarımda kalite güvencesinin oluşturulması amacıyla "Tasarım Nitelikleri ve Geçerliliği" ile "Tasarım Gözden Geçirme Elemanları" başlıkları altında HŞEA/HŞEKA'nın uygulanması istenir.

HŞEA tekniği uygulaması, *hata maliyetlerinde* büyük azalma sağlar. Bir ürünün tasarım aşamasından başlayarak kullanıcıya ulaşmasına kadar geçen süreç içerisinde hatanın ortaya çıktığı aşama ile maliyet arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Başlangıçta maliyet azdır, aşamalarda ilerledikçe maliyet artar. Bu ilişki şekil 4.4'de gösterilmektedir. Bir ürünle ilgili hata maliyetleri, ancak hataların mümkün olduğu kadar erken bulunması ile enküçüklenecektir. Şekilden de görüldüğü gibi üretim sürecinin başlangıcında ortaya çıkan hatanın işletmeye yüklediği hata maliyeti oldukça az iken, daha sonraki aşamalarda maliyet giderek artmaktadır. Prasad (1990), bu durumu sayılarla açıklamaktadır: Hata ürünün son müşterisi yani kullanıcısı tarafından bulunursa işletmeye maliyeti 100\$, aynı hata üretim tamamlandıktan sonra son muayenede bulunursa maliyet 10\$ olacaktır. Hata, girdi muayenesinde bulunursa maliyet 1\$'dan düşük olur ve tasarım aşamasında veya proses mühendisliği aşamasında hatadan kaçınıldığında maliyet 0.10\$ olacaktır. Sayılardan da görüldüğü gibi olası hatanın ortaya çıkmadan HŞEA ile önlenmesi daha ekonomik olmaktadır.



Şekil 4.4. HŞEA- Maliyet İlişkisi (Prasad, 1990)

Bir işletmede HŞEA/HŞEKA'nın uygulanma süresinin uzunluğu ile elde edilen yararlar arasında önemli bir ilişki vardır. Zaman uzadıkça tekniğin sağladığı yarar da artar. Kullanım süresinin uzunluğuna göre mühendislerin iş yükü de azalma gösterir.

Emniyet açısından HŞEA/HŞEKA uygulanmasıyla sağlanan fayda ele alınırsa bunun mühendislikle ilgili kuruluşlarda uygulandığı birim ile ilgili olduğu gözlenir. Örneğin bir otomobil fabrikasında tasarım-HŞEA'nın motor yağına uygulanmasında elde edilen yarar sınırlı bir değere sahipken, yeni frenleme sistemine uygulandığında çok daha fazla yarar elde edilir.

Tekniğin mühendislere sağladığı yararlar şunlardır (Prasad, 1990):

- Zaman açısından kazanç sağlar. HŞEA uygulamasında harcanan yaklaşık bir aylık zamanın getirileri sorun ortaya çıktıktan sonra yapılan bir yıllık mühendislik çalışmasına eşittir.



- Duyarlı kalite güvencesi ve istatistiksel proses kontrol monitörleri oluşturma şansı verir.
- Sorunun beklenmekte olduğu ve ortaya çıkarsa ürünün alanda hatalı olduğu zamanın uyarısı verir.
- İmalat kuruluşlarında çok büyük yararlar sağlayan "ilk defada doğruyu yapma" tutumunu kazandırır.
- Farklı alanlarda çalışanların bir araya geldiği grup çalışmasından dolayı "öğrenme eğrisi" nde kısalma sağlar.

HŞEA/HŞEKA'nın genel olarak işletmede çalışanlara sağladığı yarar ise yapmaları ve yapmamaları gerekenleri tanımlamasıdır (LaFay, 1990).

#### **4.10. HŞEA/HŞEKA Uygulamasında Karşılaşılan Güçlükler**

HŞEA/HŞEKA'nın uygulanmasında bazı güçlükler ile karşılaşılır. Ancak bu karşılaşılan güçlükler yöntemin içerdiği teknik açıdan değil, bazı eksiklikler sonucudur. Bu yöntemin yorumu ve kullanılmasıyla ilgili güçlükler azdır. HŞEA/HŞEKA uygulamasında karşılaşılan güçlükler şunlardır:

- Veri kaynaklarının olmaması veya eksik olması
- Ortak bir standard olmamasından dolayı kavram kargaşası
- Yönetim ve organizasyonda yer alan kişilerin yöntemin kullanılmasına isteksizlik duymaları.

Bu yöntemin uygulanmasında karşılaşılan en büyük güçlük veri eksikliğinden kaynaklanmaktadır. HŞEA/HŞEKA ile ilgili bütün bilgilerin etkin bir şekilde girildiği ve idare edildiği veri tabanlarının olmaması uygulamayı güçleştirir, sağlıklı sonuçlar alınmasını önler.

Mc Kinney (1991) de, HŞEA/HŞEKA uygulamasıyla ilgili ortaya çıkan güçlüklerin en büyük nedeninin veri yetersizliği olduğunun vurgular ve bundan da işletmelerin ve devletin sorumlu olduğunu vurgular. İşletmeler bu sorumluluklarını, çalışmalarının kayıtlarını koruyarak, devletin ilgili kuruluşları bazı parça veya sistemler için hata nedenleri, şekilleri ve etkilerinin yer aldığı el kitapları oluşturarak yerine getirmelidir. Bu kaynaklar aynı zamanda neyin yapılmayacağı ve hangi koşullardan kaçınılacağına bilinmesini de sağlar.



Evans (1989)'a göre de, HŞEA/HŞEKA kullanımındaki en büyük eksiklik bilgi organizasyonunun olmayışıdır. Bu durum özellikle yeni malzeme ve bileşenlerin kullanıldığı durumlarda büyük sorun oluşturmaktadır. Örneğin elektronik alanındaki güvenilirlik çalışmalarında bilinen malzemeler kullanıldığında hataların sistemin bozulması üzerindeki etkisi bilinir. Ancak malzeme değişikliğinde örneğin, plastik malzemeler çelik veya alüminyumun yerini aldığı zaman, yeni hata şekilleri ve hata bulma yöntemleri bilinmemektedir. Bu durumda bilgi edinmenin bir yolu kritik olmayan uygulamada yeni malzemeyi kullanmaktır. Ancak bu hem maliyete hem de zaman harcanmasına yol açar. Bunun için gereksinim duyulan bilgilerin ilgili işletmeler ve devlet kuruluşları tarafından bir araya getirilerek organize edilmesi gerekir. Bu işlem yapıldığında toplumun veya çevrenin emniyeti de sağlanır. Örneğin, hata şekillerinin belirlenmiş olduğu durumlarda, hata şeklini oluşturanlara ceza vermek kolaylaşır.

Hecht (1989) de Evans'a verdiği yanıtta HŞEKA'nın yararlarını vurgularken güvenilirlik çalışmalarında yöntemden istenen sonucun alınamayışının nedeninin bilgi organizasyonunun olmaması olduğunu kabul eder. Bunun içinde şu önerilerde bulunur:

- Çok büyük ölçekli bütünleşik sistemlerde uygulanabilmesi için MIL-STD 1629A'da düzeltmeler yapılmalıdır.
- Tasarımcılar için anlamlı terimlerle, çok büyük ölçekli bütünleşik sistemler için hata şekilleri kataloğu oluşturulmalıdır.
- HŞEKA ile bulunamayan bütün gerçek hata şekillerini tanımlamak için hata raporlama, analiz ve düzeltici faaliyet sistemleri ilave edilmelidir. .

Eleştirilerden de görüldüğü gibi, etkin bir HŞEA/HŞEKA için elde edilen bilgiler ile bir veri bankasının oluşturulması zorunlu olmalıdır. Böylece kişilerin deneyim ve yargıları yerine, geçmiş dönemlerdeki benzer ürünlerin gerçek verilerinden ve bunların istatistiksel değerlendirmelerinden yararlanılabilir. Bilgisayar donanımındaki gelişmeler bilgi tabanının oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır. Örneğin IBM'in geliştirdiği yazılım programında operatörün sadece veri girişlerini söylemesi yeterli olmakta, program konuşmayı yazıya çevirmektedir (Durant et al., 1988).

Ancak veri tabanı kullanılması ile ilgili eleştiri de vardır. Bu eleştiri analizi yapılmakta olan sistem için gerekli verilerin kendisi ile değil, daha önce analiz edilmiş olan benzer sistemler ile ilgili olmasıdır (McKinney, 1991).

Uygulamacılar, veri yetersizliği durumunda mevcut durumu değerlendirirken bazı karar verme durumlarında zorlanırlar. Bunlar:

- Birimin fonksiyonunu belirlemede güçlük
- Çalışma sınırlarının belirlenmesinde güçlük
- Hatanın ortaya çıktığına karar vermede güçlük
- Hata şekillerini belirlemede güçlük
- Hata etkilerini belirlemede güçlük
- Hata nedenlerini belirlemede güçlük
- Hata bulma olasılığının belirlenmesinde güçlük
- Hatanın gözükme sıklığına karar vermede güçlük
- Hatanın önemliliği hakkında kararvermede güçlük
- Hatanın bulunabilirliği hakkında karar vermede güçlük
- Düzeltici faaliyetler ve bunların öncelikleri hakkında karar vermede güçlük şeklinde verilebilir.

Uygulamada karşılaşılan diğer güçlükler uygulama adımları ile ilgili ortak bir standardın bulunmaması sonucu uygulamacının çeşitli kararlar verme durumunda da ortaya çıkar.

Bu güçlükler:

- Gözükme, önemlilik ve bulma risk faktörlerine değer verilmesinde de sorunlar ortaya çıkar. Sorunlar gözükme, önem ve bulma değerleri kişiler tarafından kestirildiğinde daha da artar. Buradaki sorun kişisel değer atama ile ilgili değil, tanımlamayla ilgilidir. Sorunu, analiz sırasında beliren şu sorular ortaya koyar: Hata şekilleri, nedenleri ve etkilerinin herbiri, gözükme, bulma, önemliliğin hangisiyle ilgilidir?. Örneğin, bulma ölçeklendirilmiş değeri hata şekliyle mi, yoksa hata nedeniyle mi ilgilidir?.
- Risk öncelik sayıların bulunmasında yine sorun söz konusudur. RÖS'lerin hesaplanmasında, uygulamada kullanılan iki yaklaşım vardır. Bunlar gözükme, önemlilik ve bulma değerlerinin toplanması veya çarpılması işlemidir. Bu iki yaklaşımdan hangisinin, hangi koşullarda seçileceğine ilişkin kararlar verilmesinde yardımcı olacak tam bir açıklayıcı gösterge yoktur.

HŞEA/HŞEKA'nın uygulanmasında organizasyonel ve yönetim ile ilgili güçlükler de söz konusudur. Bu güçlük, yöneticilerin bir çoğunun bu yöntemin yararlarını anlayamadıklarından uygulanmasında isteksizlik göstermeleri ile ilgilidir. HŞEA/HŞEKA'nın amaçlarını anlayamama, ve eğitim eksikliği uygulamada güçlük

oluşturur. Çünkü HŞEA/HŞEKA'nın işletmelerde kabul görmesi yönetimin sorumluluğundadır. Benzer şekilde, birçok işletmede yöntemden sorumlu kişiler olarak bilinen mühendislerin olumsuz tutumu da uygulamayı güçleştirir. Mühendislerin bu tekniği zaman ve çaba isteyen sıkıcı faaliyet olarak görmeleri, uygulamayı engelleyen en büyük güçlüktür. Onlar, diğer pekçok yenilikçi görev gibi HŞEA/HŞEKA'nın da heyecan verici olmadığını ileri sürerler. İş yükünü % 20 arttırdığını söylerler (Dale ve Shaw, 1990). Bu nedenle yöntem bir çok işletmede bir egzersiz olarak işlem görür.

HŞEA/HŞEKA çalışmasında organizasyonel yapı içerisinde yaşanan bir diğer güçlük, çoğu zaman sistemin fonksiyonları ve çalışma şekilleri hakkında uzman bilgisinden yararlanmak ve sistemin olası hata şekilleri, etkileri hakkında çıkarsama yapmalarının istenmesidir. Kişiler uzman olmadığında veya uzmanlar işletmeden ayrıldığı durumlarda yine zorluk yaşanır. HŞEA/HŞEKA'nın sonuçları önerilere yansıtacağından, gerektiği zaman hazır olacak şekilde yapılıp, tamamlanmalıdır.

## **5.0. HATA ŞEKİLLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK KÜME KURAMININ UYGULANMASI OLANAĞI**

### **5.1. Bulanık Küme Kuramı**

Bulanık küme kuramı, ilk olarak 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Kuram, sosyoloji, mühendislik, tıp, psikoloji, yapay zeka, karar kuramı, metroloji, ekoloji gibi çok farklı alanlarda uygulama olanağı bularak hızla gelişmiştir. Konuyla ilgili teorik çalışmaların ve uygulamaların yer aldığı birçok kitap vardır (Jones, Kaufmann ve Zimmerman 1986; Klir ve Folger, 1988; Kaufmann ve Gupta, 1988; Evans, Karvowski ve Wilhem, 1989; Bezdek ve Pal, 1992).

Bulanık kümeler kuramı veya olabilirlik (possibility) kuramı, bazı kümelerin kesin olmayan sınırlara sahip olduğu ana fikrine dayanır. Olasılık kuramı olayların gerçekleşmelerine veya gerçekleşmemelerine yönelik belirsizliği rassallık kapsamında ele almakta, bulanık kümeler kuramı ise bir şeyin sınırları kesinlik taşımayan bir kümeye ait olup olmadığı belirsizliği ile ilgilenmektedir.

Bulanık küme kuramı, klasik matematiğin kesinliği ve gerçek yaşantıdaki belirsizlik arasında uzlaşma sağlayan bir adımdır (Kandel, 1979).

#### **5.1.1. Bulanık Küme Esasları**

Klasik küme kuramında, evrensel kümeye ait olan elemanlar, bir kümeye ait olan elemanlar ve kümeye ait olmayan elemanlar olarak iki sınıfa ayrılır. Klasik kümenin tanımladığı gruba ait olan ve olmayanlar arasında kesin, belirgin bir sınır vardır. Ancak konuşma dilinde tanımladığımız uzun boylular, pahalı arabalar, koyu renkliler, 5'den büyük sayılar gibi birçok grup ve sınıflar bu özelliklere uymamaktadır. Bu gruplarda sınırlar kesin ve net gözükmemekte, kümeye üye olma ile üye olmama arasındaki geçişin ani değil, dereceli olduğu gözlenmektedir. Bu özelliklere göre bulanık kümelerin üye olan ile üye olmayanlar arasındaki kesin sınırları kaldırdığı bulanıklık kavramını getirdiği gözlenmektedir. Bir bulanık küme, evrensel kümeye ait her elemana bulanık kümeye ait olma derecesini gösteren birer üyelik derecesi atamak yoluyla matematiksel olarak tanımlanır. Üyelik derecesi, bir elemanın bulanık kümenin temsil ettiği özelliğe ne denli



benzer veya uygun olduğunu gösterir. Üyelik değerleri genellikle 0 ile 1 kapalı aralığındaki gerçel sayılarla temsil edilir. Üyelik derecesi büyüdükçe elemanın bulanık kümeye ait olma derecesi artar. Tam üyelik derecesi 1 ve tam üye olmama derecesi 0 üyelik değeri ile gösterilir. Bu nedenle klasik kümeler, daha genel ifade biçimi olan bulanık kümelerin üyelik dereceleri sadece 0 ve 1 değerlerini alabilen, bir özel hali olarak gösterilebilir (Klir ve Folger, 1988).

Bulanık kümeler kuramında esası oluşturan kavram "üyelik fonksiyonudur". Klasik bir küme elemanların veya cisimlerin topluluğu olarak tanımlanabilir. Her bir eleman A kümesine aittir veya değildir. Böyle bir klasik küme farklı şekillerde tanımlanabilir. Kümeye ait elemanlar listelenir veya küme analitik olarak tanımlanır. Örneğin üyelik koşulu verilerek:

$$A = \{ x \mid x \geq 5 \}$$

şeklinde veya üye elemanları karakteristik fonksiyon kullanılarak tanımlama yapılabilir.

Klasik kümelerde karakteristik fonksiyon evrensel kümenin elemanlarına 1 veya 0 değerleri atayarak, elemanları ilgilenilen klasik kümeye ait olanlar ve olmayanlar şeklinde ayırmaktadır. Bu fonksiyon evrensel kümenin elemanlarına belirlenen bir aralıkta değer atayacak biçimde genelleştirildiğinde, her bir elemanın ilgilenilen kümeye ait olma (üyelik) derecesini verir. Böyle bir fonksiyona "üyelik fonksiyonu" ve bu fonksiyonun tanımladığı kümeye "bulanık küme" adı verilir. Bu çalışma içerisinde bundan böyle karşılaşılabilecek tüm bulanık kümeler için üyelik değerleri  $[0,1]$  aralığında olacaktır.

$X$  bir evrensel küme olsun.  $A$  bulanık kümesini tanımlayan üyelik fonksiyonu genellikle

$[0,1]$  : 0 ile 1 arasındaki gerçel sayıları kapsayan kapalı aralık olmak üzere;

$$\mu_A : x \rightarrow [0,1] \quad (5.1)$$

şeklinde tanımlanır.



Bu durumda düzenli çiftlerden oluşan A bulanık kümesi

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (5.2)$$

olarak gösterilir.

X evrensel kümesindeki, bir A bulanık kümesinin desteği (support), evrensel kümeye ait ve A'nın üyelik dereceleri 0'dan büyük olan bütün elemanları içeren bir klasik kümedir.

A bulanık kümesinin desteği,

$$\text{Supp } A = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (5.3)$$

eşitliği ile gösterilir.

Bir bulanık kümenin "yüksekliği", o kümedeki elemanların sahip olduğu en yüksek üyelik derecesidir. Bir bulanık kümenin elemanlarından en az biri mümkün maksimum üyelik derecesine sahip ise, o bulanık kümeye "normalleştirilmiş" adı verilir.

Bulanık kümenin  $\alpha$  kesimi  $A_\alpha$ , A'daki üyelik dereceleri, belirlenen  $\alpha$  değerine eşit veya büyük olan ve X evrensel kümesine ait tüm elemanları kapsayan bir klasik kümedir:

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (5.4)$$

Dış bükey (konveks) olma özelliği bulanık küme kuramında önemli rol oynar. Klasik küme kuramının tersine, dış bükeylik (konvekslik) koşulları bulanık kümenin desteği yerine üyelik fonksiyonuna göre tanımlanır.

$$x_1, x_2 \in X; \lambda \in [0, 1]$$

için

$$\mu_A(x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) \quad (5.5)$$

sağlanıyor ise A bulanık kümesi dış bükeydir.



Veya bir A bulanık kümesine ait tüm  $\alpha$  kesim kümeleri dış bükey ise A kümesi de dış bükeydir.

### 5.1.2. Bulanık Kümelerde Temel Küme İşlemleri

Evrensel küme X'de tanımlı A bulanık kümesinin tümleyeni  $\bar{A}$  için

Her  $x \in X$  için

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (5.6)$$

olur.

A ve B bulanık kümelerin birleşimi  $A \cup B$  de bulanık kümedir ve

Her  $x \in X$  için

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (5.7)$$

şeklinde tanımlanır.

A ve B bulanık kümelerin kesişimi  $A \cap B$  de bir bulanık kümedir ve her  $x \in X$  için

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (5.8)$$

şeklinde tanımlanır.

Buraya kadar söz edilen bulanık kümeleri temsil eden üyelik fonksiyonları veya üyelik dereceleri klasik fonksiyonlar veya gerçel sayılar idi. Bu tür bulanık kümeler birinci tip veya standard bulanık kümeler olarak adlandırılır. Bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun kendisi de bir bulanık küme olabilir. Üyelik fonksiyonu  $[0,1]$  aralığında değer alan birinci tip bulanık küme olan, bulanık kümeler ikinci tip bulanık küme olarak adlandırılır. Bu tanımları genişleterek m. tip bulanık küme tanımlanır.

Evrensel küme  $X$  de  $m$ . tip bir bulanık küme,  $[0,1]$  de  $(m-1)$ . tip üyelik değerlerine sahiptir ( $m>1$ ).

### 5.1.3. Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemler

Gerçel sayılar kümesi  $R$  de tanımlı, üyelik fonksiyonu kısmi (piecewise) sürekli, konveks ve normalleştirilmiş bir bulanık kümeye "bulanık sayı" denir.

Bulanık sayılarda

- kesin olarak bir tane  $x_0 \in R$ ,  $\mu_M(x_0) = 1$  olan  $x_0$  değeri vardır.
- $\mu_M(x)$  kısmi sürekli dir.

Bir bulanık sayı  $M$ 'nin üyelik fonksiyonu her  $x < 0$  (her  $x > 0$ ) için

$$\mu_M(x) = 0$$

ise,  $M$  pozitif (negatif) bir bulanık sayıdır denir.

$A$  ve  $B$  iki bulanık sayı olsun.

$$A = \{x_i \mid \mu_A(x_i)\} \quad i=1,2,\dots,m \quad (5.9)$$

$$B = \{y_j \mid \mu_B(y_j)\} \quad j=1,2,\dots,n \quad (5.10)$$

Zadeh'in "genişleme prensibi" uygulanarak bulanık sayılar için cebirsel işlemler aşağıdaki gibi tanımlanır (Kangari ve Riggs, 1989):

Klasik  $-$ ,  $+$ ,  $\cdot$ ,  $\div$  işlemleri bulanık sayılar için

$\oplus, \ominus, \odot, \oslash$  şeklinde gösterilir.

Bulanık sayılarda çarpma işlemi:

$$C = A \odot B \quad (5.11)$$



$$z_k = x_i \cdot y_j \quad (5.13)$$

$$\mu_{A \circ B}(z_k) = \min(\mu_A(x_i), \mu_B(y_j)) \quad (5.14)$$

şeklindedir.

Diğer işlemlerde benzer şekilde gerçekleştirilir:

M ve N iki bulanık sayıyı, O herhangi bir bulanık cebirsel işlemi gösterdiğinde

$K = M \circ N$   
olur.

Genişletilmiş işlemlerin özellikleri:

- Değişme özelliği olan her işlem için, O işlemi de aynı özelliğe sahiptir.
- Birleşme özelliği olan her işlem için, O işlemi de aynı özelliğe sahiptir.

#### **5.1.4. Dilsel Değişkenler ve Bulanık Küme Analizi**

Bulanık kümelerin kullanımı riskin doğal dile dayanan dilsel değişkenler ile değerlendirilmesine olanak sağlar. Dilsel değişken (Linguistic Variable) değeri sayı değil bir dile ait sözcükler veya deyimler olan bir değişkendir. Bir dile ait bir x sözcüğü X evrensel kümesinden  $A(x)$  bulanık kümesinin tanımı olarak düşünülebilir. Yani  $A(x)$  kümesi x kelimesinin anlamını temsil eden bir kümedir.

Dilsel değişkenler ile bulanık kümeler arasında amaç-araç ilişkisi bulunmaktadır. Dilsel değişkenler ile işlem yapma amacına ulaşmak için bulanık kümeler kuramı araç olarak kullanılır.

Örnek olarak yetişkin bayan boy uzunluğunu tanımlamak üzere üç bulanık küme geliştirilmek istensin. Bu durumda "boy uzunluğu" bulanık değişkeni, buna ait bulanık

sınırlamalar "uzun" "orta" ve "kısa" olsun. Bir dil değişkeni ile bir bulanık sınırlamanın biraraya gelmesiyle, örneğin "kısa boylu yetişkin bayanlar" . gibi bir bulanık küme oluşur.

Karar verici bir bulanık kümeyi oluştururken, önce dilsel değişkeni ve bulanık sınırlamaları amacı doğrultusunda belirler. Sonra, oluşturulan X evrensel kümesindeki elemanların tümüne, her bulanık sınırlama için üyelik dereceleri atar. Bu dereceler boy uzunluğu değerlerinin o bulanık sınırlamaya dahil olmak konusunda karar vericinin inancını, düşüncesini yansıtır.

Örnekte boy uzunluğu değerlerinden seçilerek oluşturulan X evrensel kümesi şöyle olsun.

$$X = \{ 1.45, 1.50, 1.55, 1.60, 1.65, 1.70, 1.75, 1.80 \} \quad (5.15)$$

Kısa boylular ifadesinin anlamını yansıtan  $A = \{(x | \mu_A(x))\}$  bulanık kümesi aşağıdaki gibi verilebilir. Burada x değerleri kısa boyluları,  $\mu_A(x)$  değerleri de üyelik derecelerini göstermektedir.

$$A = \{ 1.45|1.0, 1.50|1.0, 1.55|0.9, 1.60|0.7, 1.65|0.5, 1.70|0.1, 1.75|0.0, 1.80|0.0 \} \quad (5.16)$$

A bulanık kümesi, "kısa boylu" tanımından, kümeyi oluşturan kişinin ne anladığını belirtmektedir. Bu kümede 1.45 ve 1.50 değerleri en büyük üyelik derecesine, yani 1.0'a sahip olan değerlerdir. Yani karar verici bu değerlerin "kısa boylu" ifadesini iyi temsil ettiğine inanmaktadır.

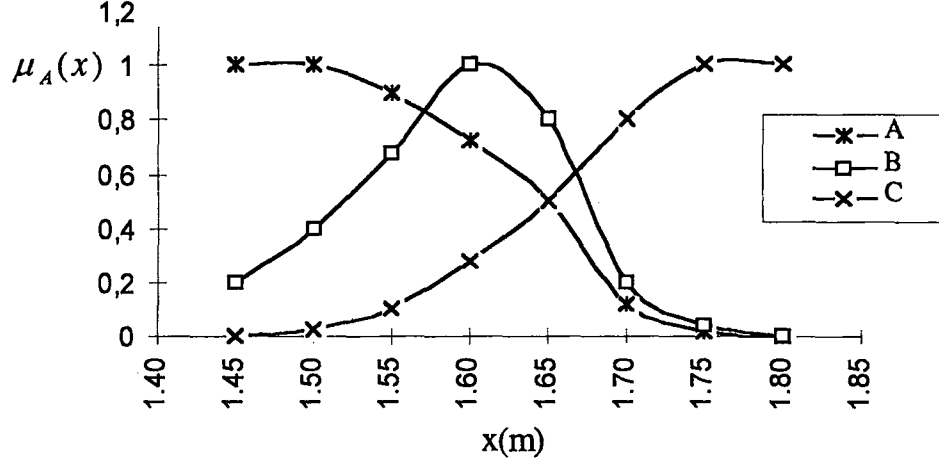
Benzer şekilde oluşturulan, "orta boylu" ve "uzun boylu" ifadelerini temsil eden B ve C kümeleri aşağıda sırasıyla verilmektedir.

$$B = \{ 1.45|0.2, 1.50|0.4, 1.55|0.6, 1.60|1.0, 1.65|0.8, 1.70|0.2, 1.75|0.0, 1.80|0.0 \} \quad (5.17)$$

$$C = \{ 1.45|0.0, 1.50|0.0, 1.55|0.1, 1.60|0.3, 1.65|0.5, 1.70|0.8, 1.75|1.0, 1.80|1.0 \} \quad (5.18)$$



A,B,C kümeleri şekil 5.1' de grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Boy Uzunlukları İle İlgili Bulanık Kümeler

### 5.1.5. Risk Analizi Alanında Bulanık Küme Çalışmaları

Bulanık küme kuramının en çok uygulanma olanağı bulunduğu konulardan biri risk analizi alanındadır.

Uygulamada birçok durumda gözlemler bulanıklık taşır, yani büyük ölçüde nitelikseldir; neden-sonuç arasındaki ilişki de karmaşık, tanımlanması güçtür. Bir tehlikeli olayın değerlendirilmesinde, olasılık, sıklık, sonuç gibi risk faktörleri esas alınarak analiz yapılmaktadır. Buradaki olasılık riskli olayın ortaya çıkma yani gözükme olasılığını, sıklık hangi aralıklarla ortaya çıktığını ve sonuçta olayın meydana getirdiği olumsuz sonucu göstermektedir. Klasik risk analizinde risk değeri bu üç faktörün çarpımıyla bulunmaktadır. Bu durumda risk değerinin sayısal büyüklüğü çok yüksek, yüksek, orta, önemsiz risk gibi dilsel değişkendir. Bu konuda çalışma yapan Korwowski ve Mital (1986), sayısal büyüklükleri esas almalarına rağmen, önermelerin anlamı bulanık olduğundan çalışmalarında lojik kuralları uygulamışlardır. Kişiler genellikle sorunlarını çözerken, nedenleri çıkarsama yöntemiyle belirler. Çalışmada da bu esas çerçevesinde bulanık muhakeme yöntemi esas alınır. Risk analizindeki bütün faktörler bulanık, kesin olmadığından bulanık girdilere yaklaşık uslama (approximation reasoning) adlı bir alternatif yöntem kullanılmaktadır. Yaklaşık uslama, kesin olmayan açıklamalardan kesin olmayan sonucun çıkarılmasıdır. Bulanık koşullu ifadeler ve çıkarım kuralları kullanan yaklaşık uslama yöntemi risk analizine uygulanır.

Karwowski, Marek, Noworol ve Ostaszewski (1988)'nin birlikte yaptıkları risk alanındaki bir diğer çalışma, endüstriyel kazaların önlenmesi için risk faktörlerinin modellenmesi ile ilgilidir. Çalışmada, risk faktörlerinin dilsel değerlendirmelerinde kullanılan uygunluk fonksiyonları oluşturmak için psikofiziksel ölçeklemeden yararlanılır. Kullanılan veriler ilgili kişilerden anket yoluyla elde edilir.

### ***5.1.6. Bulanık Küme Kuramında Karşılaşılan Sorunlar***

Bulanık küme kuramının uygulanmasında birtakım sorunlar sözkonusu olmaktadır. Bu sorunlardan birisi, dilsel değişkenleri temsil edecek bulanık kümenin oluşturulmasında üyelik derecelerinin bulanık kümeyi çok iyi temsil edecek şekilde belirlenmesi ile ilgilidir. Bunu önlemek için değişik değerler atayarak değerlendirmeler yapmak yararlı olur.

Bir diğer sorun, aritmetik işlemlerin uygulanması ve işlemlerde bozulabilen dış bükeyliğin sağlanması konusunda bir birliğin sağlanamaması durumudur (Kangari ve Riggs, 1989).

## ***5.2. HŞEA İçin Bulanık Kümeler Kuramı İle Bir Model Önerisi***

### ***5.2.1. Çalışmanın Amacı***

HŞEA/HŞEKA yönteminin uygulama sürecinde, RÖS değerlerini belirlemek için, risk faktörlerinin olasılık değerleri elde hazır bulunmadığında, kişilerin deneyimlerinden yararlanarak değerler atanır. Kişiler bu değerleri genellikle sözcüklerle ifade etme eğilimi göstermektedirler. Bu çalışmada, bu subjektif sözel ifadeler, bulanık kümeler kuramı yardımı ile sayısallaştırmak istenmektedir.

### ***5.2.2. Çalışmanın Gereççeleri***

HŞEA/HŞEA yöntemi, diğer risk analiz teknikleri gibi girdi olarak sayısal verilere gereksinim duyar. Analizlerin yapılabilmesi için sayısal olasılık verileri gerekmektedir. Ancak pek çok durumda hazır veri mevcut değildir veya mevcut veriler yeterli ve güvenilir değildir. Mevcut veri bankaları oluşturulmamıştır veya gereksinimi karşılayamamaktadır. Veri yetersizliği sistemlerin risk analizlerinin yapılmasında en önemli sorunlardan birisini oluşturmaktadır. Bu durumda, çoğu kez olasılık değerleri

uzman yargısına, takdirine başvurularak tahmin edilmektedir. Kişiler değerlerini sayısal olarak ifade etmekten çok niteliksel olarak ifade etme eğilimindedir. Yani çoğu kez, bu yolla elde edilen bilgiler sayısal değildir. Uzman yargısına dayanılarak elde edilen bilgiler niteliksel olma özelliğinden dolayı, bir dile ait sözcükler ve deyimler ile ifade edilen "bulanık bilgiler"dir. İnsan, çıkarım gerektiren böyle durumlarda, yapısına uygun olarak, fikrini alışkın olduğu biçimde az, çok az, yüksek gibi terimlerle ifade eder. Bu terimler belirsizlikten (uncertainty) çok, kötü tanımlanmış (ill-defined) ifadeler olmaları nedeniyle kesin olmama (inexactness) halini artırırlar (Jain,1976). Bu tür dilsel ifade bulan faktörlerin olasılık kullanan yöntemler ile doğrudan incelenmesi mümkün değildir (Kangari ve Riggs, 1989). Bu nedenle risk tayininde bulanık olasılık kavramı önerilmektedir.

### 5.2.3. Çalışmanın Tanıtılması

Bir risk analizinde gerekli olan veriler yöntemin içerdiği risk faktörleri ile ilgilidir. HŞEA/HŞEKA yönteminde RÖS belirlemede kullanılan risk faktörleri "gözükme", "önem" ve "bulma" olmaktadır. Hataların ortaya çıkma sıklığını gösteren gözükme faktörü, hatanın nedeninin ortaya çıkması ve bu nedenin hata şekline yol açması olasılık değerlerine bağlı olarak belirlenecektir.

Zadeh'e (1978) göre bulanık kümelerin gelişmesini teşvik eden en önemli nokta, insan çıkarımlarının olasılıktan çok olabilirlik (possibilistic) bilgilerine dayanmasıdır. Buna göre çalışmada "hata nedeninin olasılığı" yerine "hata nedeninin olabilirliği", "hata şekli olasılığı" yerine "hata şekli olabilirliği" bu iki duruma bağlı olarak "hata gözükme olasılığı" yerine de "hata gözükebilirliği" kullanılacaktır. Benzer şekilde "hata bulma olasılığı" kavramı yerine "hata bulunabilirliği" kavramı alacaktır.

Bir sistemin analizi esnasında hata olabilirliğinin dikkate alınmaması veya gereğinden az belirlenmesi elde edilecek sonucun fazlaca iyimser olmasını sağlar. Çalışmada, hata nedeninin olabilirliği "çok az", "az", "orta", "yüksek", "çok yüksek" şeklinde dilsel olarak ifade edilmektedir. Bir hatanın ortaya çıkması nedenlerin gerçekleşmesine bağlı olduğundan, nedenlerden bağımsız değildir. Bir hata nedeni hata şekline yol açmıyorsa bu hata şekli, hata nedeninden bağımsızdır denir. Hata şekillerinin ortaya çıkması hata nedenlerinin ortaya çıkmasına bağlıdır. Çalışmada hata nedenleri ve hata şekilleri arasındaki bağımlılık ilişkileri "çok", "normal", "az" şeklindeki sözcüklerle

tanımlanmıştır. Bağımlılık çok olduğunda hatanın ortaya çıkması yani "gözükme" faktörü artmakta, diğer türlü az olduğunda düşmektedir. Sonuçta neden ve hata olasılıkları uzman yargısı ve dilsel faktörler yoluyla belirlenmektedir. Bu ikisinin çarpımından oluşan gözükme, RÖS değerini belirlemede bir çarpan olarak işleme sokulmaktadır.

Bir sistemin yerine getirmesi gerekli farklı fonksiyonlar çeşitli faktörlerden olumsuz yönde etkilenebilir. Her bir faktörün sistem performansı üzerindeki etkisi, ortaya çıkardıkları sonuçları yani önemi farklı olacaktır. Sistem hatasına yol açan farklı olay dizilerin sistem üzerinde oluşturdukları risk derecesi analiz sonucunu etkileyen önemli bir faktördür. Bu konuda sayısal veri elde etmek oldukça güçtür. Önem faktörü, "çok az", "az", "orta", "yüksek", "çok yüksek" şeklinde sınıflandırılmaktadır. Çalışmada önem olarak adlandırılan bu faktör, uzman yargısı yardımıyla dilsel olarak tayin edilmekte ve atanan sayısal değerler bir çarpan olarak işleme sokulmaktadır.

Bir olası hatanın müşteriye ulaşmama olasılığını esas alan bir diğer risk faktörü olan bulma, hatanın müşteriye ulaşması ile ilgilidir. Buradaki müşteri, bir sonraki işlem, bir sonraki bölüm olabileceği gibi son müşteri yani kullanıcıda olabilir. Önlemler çok olduğunda, hata bulunabileceğinden hatanın müşteriye ulaşmama olasılığı da çok olacaktır. Bu faktör de hatanın müşteriye ulaşmama durumuna göre "çok az", "az", "orta", "yüksek", "çok yüksek" olarak sınıflanmakta ve bir çarpan olarak işleme sokulmaktadır.

Bulma risk faktörünü belirlemede, hatanın müşteriye ulaşma olasılığı esas alındığında durum yukarıdakinin tersi olacaktır. Hatanın bulunabilirliği arttığında müşteriye ulaşma olasılığı azalacaktır.

#### **5.2.4. Geliştirilen Model**

Hataları sayısallaştırmaya yönelik önerilen model:

- Sistemin analizinin yapılması ve olası hata şekilleri, nedenleri ve etkilerinin belirlenmesi
- Modelin girdilerini oluşturan üç risk faktörü, *hata gözükme olasılığı*, *önemlilik* ve *bulunabilirliğe* ait bulanık kümelerin oluşturulması

- Hata nedenleri esasına göre, RÖS'lerin bulanık kümeler kuramı ile sayısal olarak belirlenmesi olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

#### 5.2.4.1. Sistem Analizi

Bu çalışmada, bölüm 4.4.3.5.4.'de tablo 4.6 ile verilen HŞEA tablosunda yer alan örneğin analiz sonuçlarının, değerlendirilme aşamasına geçmeden önceki dilsel ifadeleri kullanılacaktır. Örnekte bir çamaşır makinasının motorunun sabit olmasını sağlayan destek parçasının analizi yer almaktadır. Prosesin analizinde, hata nedenleri esas alınmıştır. Analiz sonucunda, proseste dört hata şekli ve yedi hata nedeni belirlenmiştir. Yedinci hata, son iki hata şeklinin ortak hata nedenidir ve aynı neden numarası ile gösterilmektedir. Bulanık kümeler ile modellemede sonuçlar sadece hata nedenlerine göre değerlendirileceğinden son hata şeklinin yedi hata nedeni ayrı bir neden gibi sekizinci hata nedeni olarak alınacaktır.

#### 5.2.4.2. Girdilerin Belirlenmesi

##### 5.2.4.2.1. Hatanın Gözükabilirliği

Risk analizinin temel girdisi hatanın ortaya çıkma olasılığıdır. Bu çalışmada, gözükme "hata nedeninin gerçekleşme olasılığı" ve hata nedeni gözüküğünde "hata şeklinin gerçekleşme olasılığına" bağlıdır. Bu iki değer birlikte gerçekleşmesi ile hata gözükme değeri belirlenir. Gözükme değeri, bu iki olasılıkların ifadelerine göre değişir.

Bir hatanın gözükmesinde nedenlerin gerçekleşme olasılığı dilsel olarak aşağıda verilen bir grup sözcük ile tanımlanır. Değişkenler kesikli olarak tanımlanır. Parantezin içindeki ilk değerler olasılık değerlerini, ikinci değerler üyelik derecelerini gösterir.

$$\begin{aligned}
 \text{Çok Yüksek} &= \{(0.95|0.75), (0.99|0.95), (1.0|1.0)\} \\
 \text{Yüksek} &= \{(0.7|0.5), (0.8|1.0), (0.9|0.5)\} \\
 \text{Orta} &= \{(0.5|0.66), (0.6|1.0), (0.75|0.25)\} \\
 \text{Zayıf} &= \{(0.25|0.75), (0.3|1.0), (0.45|0.5)\} \\
 \text{Çok Zayıf} &= \{(0.05|1.0), (0.1|1.0), (0.15|0.75)\}
 \end{aligned} \tag{5.19}$$

Tablo 5.1. Sistem Analizi Sonuçları

Hata Şekli	Hata Etkisi	Hata Nedeni	Mevcut Önlemler
HŞ1 Destekde eğilme sonucu motorun aşağıya kayması	E1 Tamir masrafi oluşur	N1 Yanlış malzeme kullanma  N2 Çok ince malzeme kullanma  N3 Aşırı servis yükü	Gözle kontrol  Ölçüm  Deneyle
HŞ2 Lastik çekilmesi sonucu aşırı motor hareketi	E2 Hoşnutsuzluk oluşturur	N4 Yanlış malzeme kullanma  N5 Aşırı servis yükü  N6 Yanlış yıkayıcı kalınlığı	Gözle kontrol  Deneyle  Ölçümler
HŞ3 Destegin korrozyona uğraması sonucu motorda aşırı titreşim	E3 Müşteriyi zor durumda bırakır.	N7 Yetersiz koruyucu malzeme ile kaplama	Deneyle
HŞ4 Destegin korrozyona uğraması sonucu kötü görünüş	E4 Kötü görünüş	N8 Yetersiz koruyucu malzeme ile kaplama	Deneyle



Hata nedenlerinin hata şeklini ortaya çıkarma bağımlılık değerleri ise, hata nedeni ile hata şeklinin arasındaki ilişkiyi göstermek üzere "çok", "normal", "az" sözcükleri ile ifade edilir. Bu sözcükler aşağıdaki şekilde tanımlanan bulanık kümeler ile analize katılır.

$$\begin{aligned}
 \text{Çok} &= \{(0.8|0.5), (0.85|1.0), (0.88|0.5)\} \\
 \text{Normal} &= \{(0.4|0.5), (0.5|1.0), (0.6|0.5)\} \\
 \text{Az} &= \{(0.15|0.5), (0.2|1.0), (0.25|0.5)\}
 \end{aligned} \tag{5.20}$$

#### 5.2.4.2.2. Hata Önemlilik

Hata nedenlerine bağlı olarak ortaya çıkacak her bir olası hata şeklinin etkisi, müşteri üzerinde farklıdır. Bazı hatalar müşteri tarafından hissedilemez derecede önemsiz oluyorken bazıları can kaybına bile neden olabilmektedir. Bu hata şekillerinin müşteri üzerinde oluşturacağı etkiler, aynı hata şeklini oluşturan nedenler boyunca değişmeden kalarak dilsel olarak "çok yüksek", "yüksek", "orta", "zayıf", "çok zayıf" sözcükleri ile nitelendirilebilir. Bu dilsel değişkenler bulanık kümeler ile şu şekilde gösterilebilir:

$$\begin{aligned}
 \text{Çok yüksek} &= \{(0.95|0.75), (0.99|0.95), (1.0|1.0)\} \\
 \text{Yüksek} &= \{(0.75|0.75), (0.8|1.0), (0.85|0.75)\} \\
 \text{Orta} &= \{(0.55|0.83), (0.6|1.0), (0.7|0.5)\} \\
 \text{Az} &= \{(0.20|0.5), (0.3|1.0), (0.5|0.3)\} \\
 \text{Çok az} &= \{(0.01|1.0), (0.1|1.0), (0.15|0.75)\}
 \end{aligned} \tag{5.21}$$

#### 5.2.4.2.3. Hata Bulunabilirliği

Her bir olası hatanın müşteriye ulaşmama olasılığıdır. Olası hataların müşteriye ulaşmadan bulunabilmesi için, işletmeler pekçok olanakdan yararlansalarda yine de birtakım hatalar müşteriye ulaşabilecektir. Hatanın bulunabilirliği yüksek olduğunda müşteriye ulaşmama olasılığının da yüksek olacağı açıktır. Bu çalışmada "çok yüksek", "yüksek", "orta", "zayıf", "çok zayıf" gibi dilsel terimlerle ifade edilen hata bulunabilirliği bulanık kümeler ile ifade edilirken bu esas alınmaktadır. Bulanık kümeler şu şekildedir:

$$\begin{aligned}
 \text{Çok yüksek} &= \{(0.9|0.5), (0.99|0.95), (1.0|1.0)\} \\
 \text{Yüksek} &= \{(0.7|0.5), (0.8|1.0), (0.9|0.5)\} \\
 \text{Orta} &= \{(0.25|0.25), (0.4|1.0), (0.5|0.5)\} \\
 \text{Zayıf} &= \{(0.1|0.5), (0.2|1.0), (0.3|0.5)\} \\
 \text{Çok zayıf} &= \{(0.0|1.0), (0.01|0.95), (0.1|0.5)\}
 \end{aligned} \tag{5.22}$$

Hata bulma olasılığı her bir olası hatanın müşteriye ulaşma olasılığı olarak da alınabilir. Bu durumda olasılık değerinin yüksek olması bulunabilirliğin az olduğunu gösterecektir. O zaman, burada müşteriye ulaşmama durumuna göre verilen bulanık küme değerleri dilsel terimlere göre yer değiştirecektir. Çok yüksek terimine ait bulanık küme çok zayıf teriminde, yüksek terimine ait bulanık ifadeler zayıf teriminde yer alacaktır. Benzer şekilde zayıf ve çok zayıf terimleri için geçerli bulanık kümeler de sırasıyla yüksek ve çok yüksek terimlerinde yer alacaktır.

#### 5.2.4.3. Sayısal Çözümleme

Sistem incelenerek, olası hata şekli, hata nedeni ve hata etkileri belirlendikten ve risk faktörleri bulanık kümeler ile ifade edildikten sonra sistem sayısal olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada, RÖS hesaplamada matematiksel araç olarak bulanık küme kuramı kullanılmaktadır.

Hata nedenlerine göre HŞEA/HŞEKA sayısal çözümlemesi:

- Risk faktörlerinden biri olan hata gözükabilirliğinin hesabı,
  - RÖS'lerin bulunması
- olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır.

##### 5.2.4.3.1. Hata Gözükabilirliğinin Hesabı

Bu adımda, hata gerçekleşme olasılıkları ve buna bağlı olarak hata olasılıklarının çarpımından hareketle hata gözükabilirliği hesaplanacaktır.

Bulanık kümeler kuramı ile sayısal çözümlemede aritmetik işlemlerden sadece çarpım işlemi gerekli olmaktadır. Bulanık kümeler ile çarpım işlemi şu şekilde açıklanabilir:

Bulanık sayılar ile yapılan çarpım işlemi  $\odot$  sembolü ile ifade edilsin.

A ve B

$$A = \{a_i \mid \mu_A(a_i)\} \quad i=1,2,\dots,m \quad (5.23)$$

$$B = \{b_j \mid \mu_B(b_j)\} \quad j=1,2,\dots,n \quad (5.24)$$

şeklinde iki bulanık küme olsun.

A ve B ile gerçekleştirilen bulanık çarpım işlemi

$$C=AOB = \left\{ \left( c_t \mid \mu_C (c_t) \right) \right\} \quad t= 1,2,\dots,(m \times n) \quad (5.25)$$

şeklindedir. Burada

$$c_t = a_i \circ b_j \quad a_i \in M, \quad b_j \in N \quad (5.26)$$

$$\mu_C (c_t) = \mu_A (a_i) \cap \mu_B (b_j) \quad (5.27)$$

olur.

Elde edilen C kümesi A ve B kümelerine ait destek kümelerinin kartezyen çarpımı nedeni ile  $(m \times n)$  adet elemana sahiptir. C kümesindeki eleman sayısının fazlalığını gidermek ve bu arada bulanık aritmetik işlemlerde bozulabilen dış büyüklük özelliğini yeniden kazanmak için, her aritmetik işlemde sonra bir "ayıklama" işlemi uygulanması gerekir. Her bulanık aritmetik işlemde sonra uygulanacak ayıklama işlemi, sonuç kümesinin eleman sayısını azaltıp dış büyüklük yaparken, bulanık kümenin temsil yeteneğini değiştirmemelidir. Bu amaçla uygulanan ayıklama işlemiyle, n adet elemana sahip işlem sonuç kümesi C'nin eleman sayısının p'ye düşürülmesi amaçlanmaktadır ( $p \ll n$ ). Ayıklama işleminde ilk adım C'ye ait destek kümesinin belirlenerek elemanlarının küçükten büyüğe sıralanmasıdır (Gain ve Kohut, 1977).

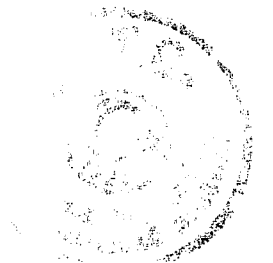
$$C_s = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \quad (5.28)$$

Elde edilen sıralı destek kümesi  $C_s$

$$\begin{aligned} C^1 &= \{c_1, c_2, \dots, c_1\} \\ C^2 &= \{c_{1+1}, c_{1+2}, \dots, c_{21}\} \end{aligned} \quad (5.29)$$

$$C^p = \{c_{(p-1)l+1}, \dots, c_n\}$$

şeklinde l adet elemana sahip p tane kümeye bölünür. Burada l sayısı n/p oranına en yakın tamsayıdır.



p adet kümenin her birinden üyelik derecesi en büyük olan eleman  $c^{*p}$  seçilerek, p adet elemanı olan ve konvekslik özelliğine sahip indirgenmiş işlem sonuç kümesi  $C_{ind}$  elde edilir.

$$C_{ind} = \left\{ \left( c^{*1} \mid \mu(c^{*1}) \right), \left( c^{*2} \mid \mu(c^{*2}) \right), \dots, \left( c^{*p} \mid \mu(c^{*p}) \right) \right\} \quad (5.30)$$

eşitliği ile gösterilir.

Bu işlemler gerçekleştirilerek n adet hatanın nedeninin gözükebilirliği hesaplanabilir. Hesaplama sonuçları RÖS hesaplanmasında direkt olarak çarpan olarak yer alır.

#### 5.2.4.3.2. Risk Öncelik Sayılarının Hesaplanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Sistem analistinin incelemekte olduğu prostedeki (sistemdeki) hataları risklerine göre sıralayabilmesi için hatanın gözükebilirliği yanında bulunabilirliğini ve önemini de değerlendirmeye katması gereklidir. RÖS hesabında bu üç faktör de yer aldığından, hataların değerlendirilmesi buna göre yapılır.

Sayısal çözümlemenin ikinci aşamasında n tane hata nedeninin her birinin RÖS değeri,

$$RÖS_i = G_i \cdot Ö_i \cdot B_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (5.31)$$

olarak belirlenir.

Burada,

$G_i$  = i. hata nedeninin gözükebilirliğin bulanık kümesi

$Ö_i$  = i. hata nedeninin öneminin bulanık kümesi

$B_i$  = i. hatanın bulunabilirliğin bulanık kümesi'dir

RÖS'lerin hesaplanmasında izlenen bulanık çarpım işlemi, bir önceki bölümde yer alan 5.23 den 5.30 nolu denklemlerin yinelenmesiyle yapılır. Sonuçlar üç değer çarpımından oluşan ikili elemanların yer aldığı birer bulanık kümedirler. İkilden birincisi, hata riskini yansıtırken diğeri bunun üyelik derecesini verir. Bu durumda hata nedenlerini esas alan olası hataları, ya bu ikiliyi oluşturan olabilirlik değeri ya da üyelik derecesi esas alınarak değerlendirme yapılabilir. En büyük risk olasılığına sahip hata nedenine öncelik

verilebileceği gibi, en büyük üyelik derecesine sahip hataya da öncelik verilebilir. Her iki durumdaki değerlendirme de öncelik sıralamasında hatalara yol açabilir. Örneğin olasılık değerine göre sıralama yapılırsa, en büyük değere sahip olan hata nedeninin üyelik derecesi diğerlerine göre küçük olabilir. Bu hata nedeninin önceliği alması hatalı olur. Çünkü olasılık değeri yüksek olmasına rağmen düşük üyelik dereceli bu elemanın içinde bulunduğu bulanık kümeyi temsil etme özelliği zayıftır. Diğer türlü üyelik derecesine göre yapılan değerlendirmede, en büyük üyelik derecesine sahip elemanın olasılık değeri diğerlerine göre çok küçük olabilir. Bu hatanın seçilmesi durumunda bulanıklık etkisi azaltılmakta ve yüksek olasılıklı elemanlar gözardı edilmektedir.

Bu nedenle hataların risk açısından değerlendirilmesinde hem maksimum olasılık hem de ilgili üyelik derecelerini birlikte ele alan "maksimizasyon kümeleri" (maximizing sets) yaklaşımı uygulanması uygun olacaktır (Jain,1976; Kenarangui,1991) .

Bir  $Y$  klasik kümesine ait maksimizasyon kümesi  $M(Y)$ , öyle bir bulanık kümedir ki ; bir  $y$  ( $y \in Y$ ) noktasının  $M(Y)$ 'deki üyelik derecesi,  $y$ 'nin ( $\sup y$ )'ye yaklaşma derecesini (belirlenen bir hassasiyetle) temsil eder (Jain,1976). Dolayısıyla maksimizasyon kümesi kavramının kullanılabilmesi için öncelikle bir  $Y$  kümesine gerek vardır. Bu çalışmada  $Y$  kümesi,  $R_i$  ile gösterilen  $n$  adet olası hata nedeninin RÖS'lerinin destek kümelerinin birleşiminden oluşmaktadır.

$$Y = \cup \text{Supp}R_i = \text{Supp}R_1 \cup \text{Supp}R_2 \cup \dots \cup \text{Supp}R_n \quad (5.32)$$

Bu durumda  $i$ . hata nedenine ait maksimizasyon kümesi  $R_{im}$  :

$$r_{maks} = \sup Y \quad (5.33)$$

$n$  : uygulamaya bağlı olarak seçilen bir tamsayı

$$f_{R_{im}}(r_t) = [r_t / r_{maks}]^n \quad (5.34)$$

olmak üzere,

$$R_{im} = \left\{ (r_t \mid f_{R_{im}}(r_t)) \right\} \quad (5.35)$$

şeklindedir.



$R_i$  ve  $R_{im}$  bulanık kümelerin kapsadığı bilgileri birleştirecek bir  $R_{i0}$  bulanık kümesi elde edilebilir. Bu  $R_{i0}$  kümesi  $R_i$  ve  $R_{im}$  kümelerinin arakesitlerinin alınmasıyla bulunur.

$$R_{i0} = \left\{ \left( r_t \mid \mu_{R_{i0}}(r_t) \right) \right\} \quad (5.36)$$

Bu kümenin üyelik dereceleri

$$\mu_{R_{i0}}(r_t) = \mu_{R_{im}}(r_t) \cap \mu_{R_i}(r_t) \quad (5.37)$$

eşitliği ile elde edilir.

Böylece  $R_{i0}$  kümesinde üyelik derecelerinin oluşturulmasında,  $r_t$ 'ye ait üyelik derecesi ile  $r_t$ 'nin  $r_{maks}$ 'a nispi değeri birlikte rol oynamaktadır.  $R_{i0}$  kümesindeki olasılık değerleri, maksimum üyelik derecesi yönünden

$$\mu_{H_0}(h_i) = V_n \mu_{R_{i0}}(r_t) \quad (5.38)$$

ifadesi ile birbirleriyle karşılaştırılarak değerlendirilir ve bulanık çözüm kümesinde i. hata nedenini temsil edecek üyelik derecesi belirlenir. Dolayısıyla bu tür bir seçme işlemi sonucunda, hata nedenlerinin sonuçları hem olasılık değerlerinin yüksekliği hem de üyelik derecelerinin yüksekliği esas alınarak değerlendirilmektedir.

Üyelik dereceleri  $\mu_{H_0}(h_i)$  belirlenerek oluşturulan

$$H_0 = \left\{ \left( h_i \mid \mu_{H_0}(h_i) \right) \right\} \quad (5.39)$$

bulanık küme hata nedenlerinin gerçekleşme olabirliklerinin sıralanmasını olanaklı kılar. Risk açısından en önemli hata nedeni  $h_0$

$$\mu_{H_0}(h_0) = V_i \mu_{H_0}(h_i) \quad (5.40)$$

ile ifade bulan maksimum üyelik derecesine sahip hata nedeni olmaktadır.

$H_0$  kümesindeki bütün üyelik dereceleri en büyük üyelik derecesi ile oranlanarak normalleştirildiğinde, bu elde edilen normalleştirilmiş kümede hata nedenlerinin RÖS'leri

belirlenir. Bu değere göre hata nedenleri, öncelikle ele alınması gereken en önemli hata nedeninden, en önemsizine doğru sıralanır.

### 5.2.5. Modelin Uygulanması

Model tablo 5.1'de verilen bilgiler kullanılarak tanıtılacaktır. Bir önceki sayısal çözümleme bölümünde yer alan bütün işlemler, BASIC dilinde yazılmış bilgisayar programı ile yapılmaktadır. Program Ek 2' de yer almaktadır.

Modelin girdileri olan dilsel değişkenlerin değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\text{Gözükme-Neden} = \{ \text{Çok yüksek, yüksek, orta, zayıf, çok zayıf} \} \quad (5.41)$$

$$\text{Gözükme-Bağımlılık} = \{ \text{Çok, normal, az} \} \quad (5.42)$$

$$\text{Bulma} = \{ \text{Çok yüksek, yüksek, orta, zayıf, çok zayıf} \} \quad (5.43)$$

$$\text{Önem} = \{ \text{Çok yüksek, yüksek, orta, zayıf, çok zayıf} \} \quad (5.44)$$

Bu dilsel ifadeleri yansıtan bulanık kümeler olarak, daha önce bölüm 5.2.4.2'de verilen kümeler kullanılmaktadır.

Risk faktörlerinden gözükmeye ait değerler tablo 5.2'de, bulma ve öneme ait değerler ise tablo 5.3'de yer almaktadır.

Tablo 5.2. Örnekteki Hata Nedenlerinin Olabilirlik ve Hataların, Hata Nedenlerine Bağımlılık Değerleri

Hata Nedenleri No	Hata Nedenleri Olabilirlik	Hata Nedenlerine Bağımlılık
1	ZAYIF	NORMAL
2	ZAYIF	ZAYIF
3	YÜKSEK	ÇOK
4	ZAYIF	ZAYIF
5	YÜKSEK	ZAYIF
6	ZAYIF	ZAYIF
7	ZAYIF	NORMAL
8	ZAYIF	ZAYIF

Tablo 5.3. Örnekteki Hata Nedenlerinin Önem ve Bulunabilirlik Değerleri

Hata Nedenleri No	Hata Önemi	Hata Nedenlerine Bağımlılık
1	ZAYIF	NORMAL
2	ZAYIF	ZAYIF
3	YÜKSEK	ÇOK
4	ZAYIF	ZAYIF
5	YÜKSEK	ZAYIF
6	ZAYIF	ZAYIF
7	ZAYIF	NORMAL
8	ZAYIF	ZAYIF

5.26 ve 5.27'le ifade edilen çarpım işlemleri her bir hatanın gözükabilirlik değerlerini bulmak için yapılır. Her çarpım işleminden sonra 5.28 ve 5.29'da tanımlanan ayıklama işlemi uygulanarak kümedeki eleman sayısı 3'e indirgenir. Örneğin 1 nolu hata nedeni için hata gözükabilirliği

$$.125 \mid .75 \quad .15 \mid 1.0 \quad .18 \mid .5 \quad (5.45)$$

şeklinde bulunur. Her bir hata nedeni için bu işlemler yapılır. Bu elde edilen kümeler, diğer iki risk faktörünün kümeleriyle birlikte RÖS değerini belirlemek amacıyla çarpan olarak 5.31 eşitliğinde yer alır. 5.26. ve 5.27 ile ifade edilen çarpım işlemi ve 5.28 ve 5.29 ile ifade edilen ayıklama işlemi bu kez her bir hata nedeni için RÖS'yi bulmak için yinelenir. Elde edilen RÖS sonuçları aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
R1 &= \{ (0.00938 \mid 0.500) \quad (0.02400 \mid 1.000) \quad (0.03000 \mid 0.500) \} \\
R2 &= \{ (0.03000 \mid 0.750) \quad (0.03840 \mid 1.000) \quad (0.04320 \mid 0.500) \} \\
R3 &= \{ (0.37800 \mid 0.500) \quad (0.53856 \mid 0.950) \quad (0.54400 \mid 1.000) \} \\
R4 &= \{ (0.00275 \mid 0.500) \quad (0.00720 \mid 1.000) \quad (0.00900 \mid 0.500) \} \\
R5 &= \{ (0.05198 \mid 0.500) \quad (0.09600 \mid 1.000) \quad (0.09900 \mid 0.500) \} \\
R6 &= \{ (0.02640 \mid 0.830) \quad (0.02880 \mid 1.000) \quad (0.03300 \mid 0.500) \} \\
R7 &= \{ (0.06600 \mid 0.830) \quad (0.07200 \mid 1.000) \quad (0.08100 \mid 0.500) \} \\
R8 &= \{ (0.01200 \mid 0.750) \quad (0.01440 \mid 1.000) \quad (0.02025 \mid 0.500) \}
\end{aligned} \quad (5.46)$$



Elde edilen RÖS sonuçlarını değerlendirmek için maksimizasyon kümesi yaklaşımı uygulamak için, önce 5.32 'de yer alan

$$Y = \cup \text{Supp}R_i = \text{Supp}R_1 \cup \text{Supp}R_2 \cup \dots \cup \text{Supp}R_n \quad (5.47)$$

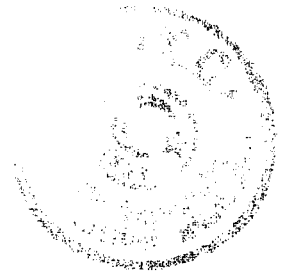
eşitliğinden Y kümesi aşağıdaki şekilde bulunur.

$$S = \{ \begin{array}{ccc} (0.00938) & (0.02400) & (0.03000) \\ (0.03000) & (0.03840) & (0.04320) \\ (0.37800) & (0.53856) & (0.54400) \\ (0.00275) & (0.00720) & (0.00900) \\ (0.05198) & (0.09600) & (0.09900) \\ (0.02640) & (0.02880) & (0.03300) \\ (0.06600) & (0.07200) & (0.08100) \\ (0.01200) & (0.01440) & (0.02025) \end{array} \} \quad (5.48)$$

$n=1$  alınarak, (5.33) ve (5.34) de yer alan tanımlar (5.35) eşitliğinde kullanılarak bütün hata nedenlerinin RÖS değerleri için maksimizasyon kümesi  $R_{im}$

$$\begin{array}{l} R(S) 1 = \{ (0.00938 | 0.017) \quad (0.02400 | 0.044) \quad (0.03000 | 0.055) \} \\ R(S) 2 = \{ (0.03000 | 0.055) \quad (0.03840 | 0.071) \quad (0.04320 | 0.079) \} \\ R(S) 3 = \{ (0.37800 | 0.695) \quad (0.53856 | 0.990) \quad (0.54400 | 1.000) \} \\ R(S) 4 = \{ (0.00275 | 0.005) \quad (0.00720 | 0.013) \quad (0.00900 | 0.017) \} \\ R(S) 5 = \{ (0.05198 | 0.096) \quad (0.09600 | 0.176) \quad (0.09900 | 0.182) \} \\ R(S) 6 = \{ (0.02640 | 0.049) \quad (0.02880 | 0.053) \quad (0.03300 | 0.061) \} \\ R(S) 7 = \{ (0.06600 | 0.121) \quad (0.07200 | 0.132) \quad (0.08100 | 0.149) \} \\ R(S) 8 = \{ (0.01200 | 0.022) \quad (0.01440 | 0.026) \quad (0.02025 | 0.037) \} \end{array} \quad (5.49)$$

şeklinde belirlenir.



(5.36) ve (5.37) eşitliklerinden bütün hata nedenlerinin RÖS için  $R_{i0}$  bulanık kümeleri elde edilir. Bu kümeler:

$$\begin{aligned}
 R_1 O &= \{(0.00938 \mid 0.017) \quad (0.02400 \mid 0.044) \quad (0.03000 \mid 0.055) \} \\
 R_2 O &= \{(0.03000 \mid 0.055) \quad (0.03840 \mid 1.071) \quad (0.04320 \mid 0.079) \} \\
 R_3 O &= \{(0.37800 \mid 0.500) \quad (0.53856 \mid 0.950) \quad (0.54400 \mid 1.000) \} \\
 R_4 O &= \{(0.00275 \mid 0.005) \quad (0.00720 \mid 0.013) \quad (0.00900 \mid 0.017) \} \\
 R_5 O &= \{(0.05198 \mid 0.096) \quad (0.09600 \mid 0.176) \quad (0.09900 \mid 0.182) \} \\
 R_6 O &= \{(0.02640 \mid 0.049) \quad (0.02880 \mid 0.053) \quad (0.03300 \mid 0.061) \} \\
 R_7 O &= \{(0.06600 \mid 0.121) \quad (0.07200 \mid 0.132) \quad (0.08100 \mid 0.149) \} \\
 R_8 O &= \{(0.01200 \mid 0.022) \quad (0.01440 \mid 0.026) \quad (0.02025 \mid 0.037) \}
 \end{aligned} \tag{5.50}$$

(5.39)'la bulunana değer (5.40)'ta yerine konarak  $H_0$  kümesi aşağıdaki şekilde oluşturulur. Bu çözüm kümesi her hata nedenini temsil eden RÖS değerleridir. Hata nedenleri bu değerlere göre sıralanır.

RÖS'lerine göre hata nedenleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

$$H_0 = \{ (HATA1, 0.0551) , (HATA2, 0.0794) , (HATA3, 1.0000) , \\
 (HATA4, 0.0165) , (HATA5, 0.1820) , (HATA6, 0.0607) , \\
 (HATA7, 0.1489) , (HATA8, 0.0372) \}$$

(HATA3 , 1.0000)  
(HATA5 , 0.1820)  
(HATA7 , 0.1489)  
(HATA2 , 0.0794)  
(HATA6 , 0.0607)  
(HATA1 , 0.0551)  
(HATA8 , 0.0372)  
(HATA4 , 0.0165)



Bu sonuca göre üç nolu hata nedeni taşıdığı risk değeri büyük olduğundan öncelikle ele alınıp, giderilmesi gerekmektedir. Dört nolu hata nedeni benzer şekilde değerlendirildiğinde, en son ele alınabilecek, en az öneme sahip hata nedenini oluşturur.

Sonuçta, bulanık küme kuramına göre modellenen RÖS'lerinin, değerlendirilmesi sonucunda elde edilen hata nedenleri sıralamasının, bölüm 4.4.3.5.4.'de bilinen klasik şekliyle tekniğin uygulanması sonucu bulunan sıralamayla aynı olduğu görülmektedir.



## 6.0. SONUÇ VE ÖNERİLER

“*Hata Şekli ve Etkileri Analizi'nin Bulanık Küme Yaklaşımıyla Çözümlemesi Olanığı*” adlı bu çalışmada kalite, Toplam Kalite Yönetimi, değişkenlik, değişim, hata, hata kaynakları ve önlenmesi olanakları tartışılmıştır. Toplam Kalite modelinin başarıya ulaşmasında etkili bir yolun, hata oluşumunu önlemek ve bunun için de çeşitli yöntemlerden yararlanmak olduğu belirtilmektedir. Bu anlamda kullanılan Hata Şekli ve Etkileri Analizi/Hata Şekli, Etkileri ve Kritiklik Analizi (HŞEA/HŞEKA) de son yıllarda artan bir şekilde endüstriyel alanda uygulama bulmaktadır. Bu yöntemin, uygulama alanlarının hızla artmasının en önemli nedeni, diğer yöntemler gibi sadece hatayı ortaya çıkarmakla yetinmemesi, hataların ortaya çıkmasını önleyecek önlemlere de yer vermesidir. Böylece hatalar müşteriye ulaşmadan önce belirlenip giderilecek, dolayısıyla ortaya çıkacak olumsuzluklar da önlenmiş olacaktır.

Bu çalışmada iki amaç gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Birincisi HŞEA/HŞEKA yöntemini tanıtmaktır. Yöntemin uygulanması sürecinde izlenecek adımlar ayrıntılı olarak verilmiştir. HŞEA/HŞEKA uygulamasında genel olarak izlenecek adımlar sırasıyla şunlardır:

- Ürün, sistem veya prosesin ayrıntılı sistem analizi yapılarak tasarım veya proses aşamasında ortaya çıkabilecek olası hata şekilleri, nedenleri ve etkileri belirlenir.
- Olası hata şekilleri veya nedenlerinin her biri için üç risk faktörü tanımlanır. Bu risk faktörlerinden *gözükme* hatanın ortaya çıkma sıklığına, *bulma* hata bulma yöntemleri ile hatanın bulunabilirliğine ve *önemlilik* de hatanın müşteri üzerindeki etkisine karşılık gelir. Risk faktörlerinden gözükme ve bulunabilirlik olasılık değerleri ve önemlilik faktörü sözel olarak ifade edilir.
- Belirli sayı aralığında bu risk faktörlerine sayılar atanır.
- Her bir hata nedeni veya hata şekli için üç risk faktörünün sayısal değerlerinin, genellikle çarpımı ile Risk Öncelik Sayısı hesaplanır. Risk Öncelik Sayısı, risk esasına göre öncelikleri belirlemeye yarayan bir ölçüdür.
- Risk Öncelik Sayısı en büyük olandan en küçük olana doğru yapılan sıralama ile de ortaya çıkması önlenecek veya enküçüklenecek olan hata şekli veya nedenlerinin öncelik sırası belirlenir.

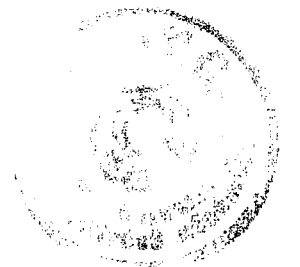
Uygulama adımlarında tanımlanan olası hata şekilleri, nedenleri ve etkileri, önemlilik ve bulunabilirlik olasılık değerleri önemliliğin tanımı gibi gerekli veriler geçmiş dönemdeki

verilerden, benzer ürün veya sistemlerin verilerinden veya ilgili kişilerin deneyim ve yargılarından yararlanarak belirlenmeye çalışılır.

Bu çalışmada, HŞEA/HŞEKA'nın uygulama süreci tanımlanırken, karşılaşılabilecek olumsuz yönlerde sırası ile tanıtılmaya çalışılmıştır. Karşılaşılan en önemli olumsuzluk, işletmelerin bilgi alt yapısının bulunmaması ile ilgilidir. Bu durumda kişilerin deneyim ve yargıları esas alınarak yapılan değerlendirmeler yeteri kadar sağlıklı sonuçların alınamamasına neden olmaktadır. Kişiler yanlış veya yeterli bilgiye sahip olmadıkları durumda yanlış değerlendirme yapabilmektedir. Sorun özellikle uzman olarak nitelendirilen kişilerin işletmeden ayrılması durumunda daha açık olarak ortaya çıkmaktadır.

Yöntemin uygulanması sırasında izlenecek ortak bir sürecin olmaması durumu da bir olumsuzluk olarak ele alınmıştır. Ortak bir sürecin olmayışının nedeni, her işletmenin kritikliklerini kendi hata hoşgörme dereceleri, deneyim ve birikimlerine göre belirliyor olmalarıdır. Bu durum özellikle birden fazla kuruluşun tedarikçileri olan işletmeler için sorun oluşturmaktadır. Her kuruluşun yöntemle ilgili oluşturdukları el kitaplarında yer alan uygulama süreçleri ve literatürdeki tanımlanan süreçler arasında küçük de olsa farklılıklar olduğu görülmektedir. Alıcı kuruluşları tarafından HŞEA/HŞEKA yöntemini uygulamaya zorunlu tutulan tedarikçiler, bu küçük şekilsel farklılıklar yüzünden her defasında zorlanmaktadır.

Bu farklılıklar uygulamanın yazılı hale getirilmesinde daha açık olarak gözükmemektedir. Örneğin, bazı uygulamalarda hata nedeni yerine hata şekli ele alınmakta, bu hata şeklinin gözükme, önemlilik ve bulunabilirliği aranmakta, dolayısıyla sayısal değer atama (ölçeklendirme) hata şekli üzerinde yapılmaktadır. Sonuçta, alınacak önlemler de hata şeklinin ortadan kaldırılmasına yönelik olmaktadır. Bu durumda hata nedenleri hiç değerlendirmeye katılmadığından, hata nedenlerinin hata şekli üzerindeki etkisi de görülememektedir. Hata nedenlerine göre gözükme, önemlilik ve bulunabilirlik risk faktörlerine sayısal değer atama yapıldığında en önemliden başlayarak nedenlerin ortadan kaldırılması sonucu sürekli iyileşme sağlanacaktır. Bir nedenin ortadan kaldırılması belkide diğer hata şekillerinin üzerinde de olumlu sonuçlara yol açabilecektir.



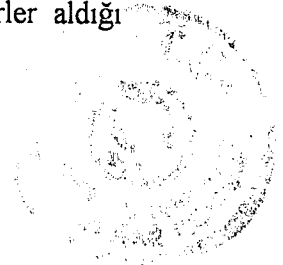
Pek çok uygulama ve kaynaklarda görülen bir diğer durum, gözükmeye değerlendirmesinde hata nedenleri olasılığının hata şeklinin ortaya çıkmasındaki etkisini gözönüne alıp almama konusundadır. MIL-STD 1629A'daki uygulama süreci esas alındığında, hata şeklinin, hata nedeninin ortaya çıkma durumuna bağlı, koşullu olasılık olarak kabul etmek yararlı olacaktır.

HŞEA/HŞEKA yönteminin ele alındığı dördüncü bölümde, uygulama sürecindeki farklılıklar ve bunlarla ilgili olumsuzluklar incelenmiştir. Bu olumsuzluklara neden olmayacak MIL-STD 1629A esas alan bir uygulama süreci, oluşturulan örnek üzerinde gösterilmiştir.

Çalışmanın ikinci amacı, Bulanık Küme Kuramı ile yeni bir çözüm olanağı sunmaktır. Bulanık kümeler, gözlemlerin bulanıklık taşıdığı, yani kesin olmadığı durumlarda uygulanır. Bulanık kümeler kuramının kullanımı riskin doğal dile dayanan dilsel değişkenler ile değerlendirilmesine olanak sağlar. Bu nedenle başta risk analizi problemleri olmak üzere, sosyoloji, mühendislik, tıp, psikoloji, metroloji, karar kuramı gibi çok çeşitli alanlarda son yıllarda uygulanma olanağı bulmuştur.

Çalışmada, HŞEA/HŞEKA için bulanık kümeler ile yaklaşım geliştirilmek istenmesinin nedeni işletmelerin, yöntemin değerlendirme aşaması için gerekli verilere sahip olmamaları ve kişilerin yargılarına dayanarak subjektif değerlendirme ile sonuca ulaşmak istemeleridir. Bu durumda kişiler çoğunlukla sayısal değerler yerine sözel ifadeler kullanma eğilimi gösterirler. Bu olumsuzluğu gidermek için çalışmada bulanık kümeler yaklaşımı ile bir model oluşturulmuştur.

HŞEA/HŞEKA tekniği bir risk analiz tekniği olarak sayısal verilere gereksinim duyar. Risklerin belirlenebilmesi için olasılıksal değerler gerekmektedir. Ancak pekçok durumda veriler hazır, yeterli ve güvenilir değildir. Veri yetersizliği, sistemlerin risk analizlerinin yapılmasında en önemli sorunu oluşturmaktadır. Bu durumda olasılık değerleri, çoğu kez uzman yargısına, takdirine başvurularak belirlenmektedir. Ancak bu yolla elde edilen bilgiler sayısalardan çok, bir dile ait sözcükler ve deyimler ile ifade edilen "bulanık bilgiler" olmaktadır. Bu nedenle risk öncelik sayısının belirlenmesinde bulanık olasılık kavramı kullanılır. İnsan çıkarımları, olasılıktan çok olabilirlik bilgilerine dayandığından çalışmada risk faktörleri için "hata gözükebilirliği", "hata nedeni gözükebilirliği" ve "hata bulunabilirliği" kavramları kullanılmaktadır. Tüm değişkenlerin kesikli değerler aldığı



kabul edildiğinden bulanık kümeler ile temsil edilmekte, fonksiyonlara yer verilmemektedir.

Bu çalışmada geliştirilen model ile HŞEA/HŞEKA yönteminde hata risklerini değerlendirmek için kullanılmakta olan Risk Öncelik Sayılarının, sayısal değerler atama yerine sözel ifadeler kullanılarak belirlenmesi ve hata nedenlerinin en büyük Risk Öncelik sayısından başlayarak en küçüğe doğru sıralanması sağlanmıştır. Geliştirilen model için BASIC dilinde hazırlanmış program uygulama örneği üzerinde uygulandığında, klasik uygulama şekli ile aynı sonuç elde edilmiştir.

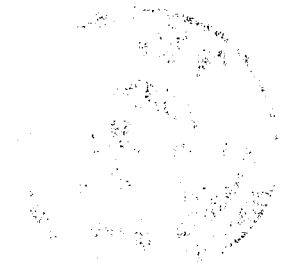
Bulanık kümeler kuramı ile Risk Öncelik Sayısının belirlenmesinin sağladığı yararlar şunlardır:

- Sayısal ifadelerle gerek duymadan, her bir risk faktörü için örneğin "büyük", "orta", "küçük" gibi sözel ifadeler kullanılarak Risk Öncelik Sayısı belirlenebilir.
- Klasik uygulama şeklinde kullanılan, her işletmenin kendi ürünleri için sahip olduğu olanakları gözönünde bulundurarak üç risk faktörü için hazırlaması gereken sayısal değer atama tablolarını oluşturmaya gereksinim kalmaz.
- Veri tabanının oluşturulmadığı durumlarda kullanılabilir.
- Grup üyeleri olasılık değerleri hakkında bilgi sahibi olmadan değerlendirme yapabilirler.

Ancak bulanık küme kuramının uygulanması sırasında birtakım güçlüklerle karşılaşılır. Karşılaşılan bir sorun, bulanık kümeyi çok iyi temsil edecek üyelik derecelerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Bir diğeri ise uygulanacak aritmetik işlemin ve işlemlerde bozulabilen dış büyüklüğün sağlanması konusunda bir birliğin olmamasından kaynaklanır.

HŞEA/HŞEKA'dan çok başarılı sonuçlar sağlayabilmek için;

- Veri tabanı oluşturulmalıdır. Böylece bilgilerin elde edilmesini sağlayacak temel veriler, uygulamalarla ilgili sağlıklı istatistiksel alt yapıdan sağlanabilir.
- Ürün veya sistemlerin tasarım ve proses aşamalarından sadece birinde kullanmak yerine, her iki aşamasında da yöntem kullanılmalıdır.
- Daha güvenilir ve hızlı sonuçlar almak için bilgisayar programlarından yararlanılmalıdır.



HŞEA/HŞEKA yöntemi ile ilgili gelecekte şü çalışmalar yapılabilir:

- Uzman sistemler yardımıyla bütün olarak otomatik hale getirilebilir. Böylece sadece veriler hata şekli listesi, hata nedenleri, hata etkileri ve hata bulma olanakları listesi gibi veriler sisteme verilerek çıktılar alınabilecektir.
- Bir hata şekli yerine birden fazla hata şeklinin ve bir hata şeklinin birden fazla sistem düzeyindeki etkisinin aynı anda incelenebileceği modeller geliştirilerek yönteme katılabilir.
- Bir sistemin hatasının, diğler sistemin de hatalı olmasına yol açma etkisini belirleyen hesaplama yöntemleri analizlere eklenebilir.





## KAYNAKLAR

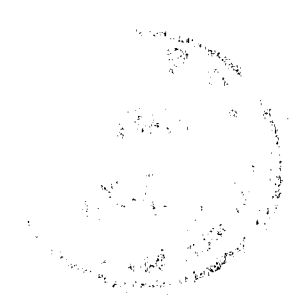
1. *Akao, Y.*, 1990. An Introduction to Quality Function Deployment. In Quality Function Deployment, Yoji Akao (editör), Productivity Press, USA: 4-5.
2. *AMDEC* (ANALYSE des MODES de DEFAILLANCE, de leurs EFFECTS, et de leur CRITICITE) Uygulama Seminer Notları, 1992. Renault-Oyak A.Ş., Sapanca.
3. *Ang, A.H-S, Tang, W.H.*, 1984. Probability Concepts in Engineering Planning and Design. Vol 2. Decision, Risk and Reliability, John Wiley & Sons, Republic Singapore: 485-498
4. *Ashley, S.*, 1993. Failure Analysis Beats Murphy's Law, Jour. Mechanical Engineering 115(9): 70-72.
5. *Banks, J.*, 1989. Principles of Quality Control, John Wiley & Sons, Canada: 112-113.
6. *Beakley, G.C.*, 1974. DESIGN Serving the needs of man, Mc Millan Publishing Co. Inc., USA: 125-158.
7. *Bezdek, J. C., Pal, S. K.*, 1992. Fuzzy Models for Pattern Recognition, IEEE Press Inc., Newyork.
8. *Black, P.H.*, 1955. Machine Design, Mc Graw Hill Company Inc.
9. *Bluvband, Z.; Friedman, A.*, 1989. What About the "Quality Assurance" Task? 1989, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium. Orlando, USA. Publ. by IEEE: 242-247.
10. *Coker, A. O.; Smith, J.A.; Higgens, S.; Cameron, D.C.*, 1989. Computer-Based Failure Mode and Effects Analysis for Quality Management-a case study, Jour. Quality Assurance, 15(3): 89-94.
11. *Colobro, S.R.*, 1962. Reliability Principles and Practices. Mc Graw-Hill Book Company: 84-85.
12. *Dale, B.G.; Shaw, P.*, 1990. Failure Mode and Effects Analysis in the U.K. Motor Industry: A State-of-the-art-study, Jour. Quality and Reliability Engineering International, 6(3), 179- 188.
13. *Dasgupta, A., Pecht, M.*, 1991. Material Failure Mechanisms and Damage Models, Jour. IEEE Transactions on Reliability 40(5): 531-536.
14. *Deming, W.E.*, 1986. Out of the Crises, MIT, USA.
15. *Dhillon, B.S.*, 1988 Mechanical Reliability Theory, Models and Applications, AIAA, USA.

16. *Durant, W.S., Lux, C.R., Galloway, W.D.*, 1988. Data Bank for Probabilistic Risk-Assesment of Nuclear-Fuel Reprocessing Plants, IEEE Transactions on Reliability 37(2):138-142.
17. *Evans, R.A.*, 1989. Why FMEA, Jour. IEEE Transactions on Reliability, 38-2: 161.
18. *Evans, G.W., Karwowski, W., Wilhem, M.R.*, 1989. Application of Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering, Elsevier Science Publishers, The Netherland.
19. *Feigenbaum, A.V.*, 1983. Total Quality Control, McGraw-Hill Book Company, 3rd ed.,USA:118-119.
20. *Ford Motor Company*, Design FMEA Manual.
21. *Gain, R.R., Kohut, L. J.*, 1977. The Fuzzy Decade: A Bibliography of Fuzzy System and Closely Related Topics, Jour. International Journal of Man-Machine Studies, 9: 1-68.
22. *Garvin, D. A.*, 1984. What Does Product Quality Really Mean?, Sloan Management Review, 26(1):26-42.
23. *Gertsbakh, I.B., Kardonsky, K.B.*, 1969. Models of Failure, Springer, Verlag New York Inc.
24. *Hecht, H.*, 1989. Comment on: Why FMECA?, Jour. IEEE Transactions on Reliability, 38(4): 402.
25. *Hofmann, D.*, 1982. Measurement Errors, Probability and Information Theory, In:P.H. Syndenham (Editör), Handbook of Measurement Science, John Wiley & Sons Ltd., New York:241-274.
26. *Hunt, J.E., Price C.J., Lee M.H.*, 1993. Automating The FMEA Process, Jour. Intelligent systems Engineering 2(2):119-132.
27. *Hunt J.E., Pugh D.R., Price C.J.*, 1995. Failure mode Effects Analysis: A Practical Application of Functional Modeling, Jour. Applied Artificial Intelligence9: 33-44.
28. *IEEE STD 729*, 1983. "IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology", The Institute of Electrical and Electronic Engineers.
29. *Ireson, W.G.*, 1966. Reliability Handbook, chap.12, Mc Graw-Hill Book Company, USA.
30. *Jain, R.*, 1976. Decision Making in the Presence of Fuzzy Variables, Jour. IEEE Transactions on Systes, Man, and Cybernetics, 698-703.
31. *Joiner, B.L., Gaudard, M. A.*, 1990. Variation, Management and W. Edward Deming, Jour. Quality Progress, 23(10): 29-37.

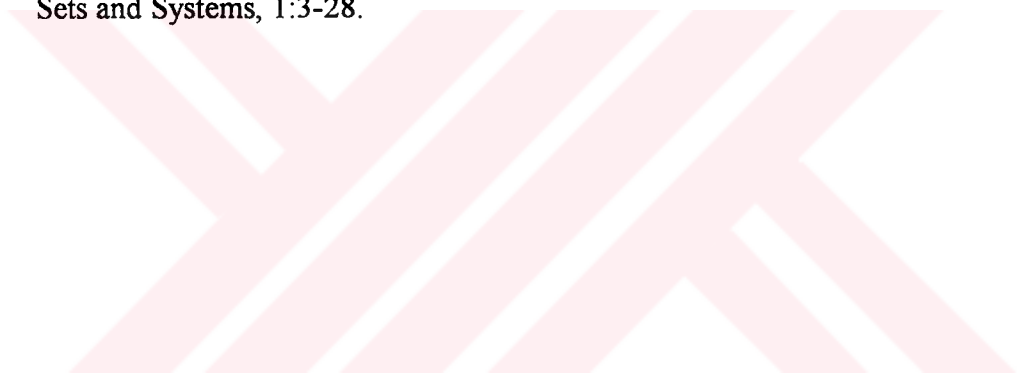
32. *Jones, A., Kaufmann, A., Zimmermann, H. J.*, 1986. Fuzzy Sets Theory and Applications, D. Reidel Publishing Company, Holland.
33. *Kandel, A.*, 1983. Fuzzy Mathematical Techniques with Applications, Addison-Wesley Publishing Company, California, USA.
34. *Kangari, R., Riggs, L.S.*, 1989. Construction Risk Assessment by Linguistics, Jour. IEEE Transactions on Engineering Management, 36(2), 126-131.
35. *Kara-Zaitri, C.; Keller, A.Z; Barody, I.; Fleming, P.V.*, 1991. An Improved FMEA Methodology, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Orlando, USA., Publ. by IEEE: 248-252.
36. *Karwowski, W., Mital, A.*, 1986. Applications of Approximate Reasoning in the Risk Analysis, In: Applications of Fuzzy Set Theory in Human Factors. Elsevier Science Publishers, The Netherland: 227-238.
37. *Karwowski, W., Marek, T., Noworol, C., Ostaszewski, K.*, 1989. Fuzzy Modeling of Risk Factors for Industrial Accident Prevention: Some Empirical Results, In: G.W.Evans, W.Karwowski, M.R.Wilhelm, (Editors), Applications of Fuzzy set Methodologies in Industrial Engineering. Elsevier Science Publishers, The Netherland: 141-154.
38. *Kasa, H.*, 1990. Çağdaş Kalite Güvenliği İçin Koşullar, Kalite Güvenliği ve Uluslararası Standardlar Sempozyumu, İTÜ, İstanbul.
39. *Kasa, H., Boran, S.*, 1993. FMEA ve Toplam Kalite Yönetimi için Önemi, YA/EM Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, 87.
40. *Kaufmann, A., Gupta, M. M.*, 1988. Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management, Science Elsevier Science Publishers, The Netherland.
41. *Kempster, M.H.A.*, 884. Engineering Design III, Hadder and Stoughton, 2-4.
42. *Kenarangui, R.*, 1991. Event-Tree Analysis by Fuzzy Probability, IEEE Transactions on Reliability, 40(1), 120-124.
43. *Klir, G. J., Folger, T. A.*, 1988. Fuzzy Sets, Uncertainty and Information, Prentice Hall, USA.
44. *KOGEM, HTEA*, 1995. 2.baskı. Çayırova, İstanbul.
45. *La Fay, V.S.*, 1990. Failure Mode and Effect analysis: A Step Toward Total Quality Assurance, Jour. Modern Casting 80(5), 29-31.
46. *Landers, R.*, 1963. Reliability and Assurance, Prentice-Hall Inc., USA: 231-235.
47. *Legg, J.M.*, 1978. Computerized approach for Matrix-Form FMEA, Jour. IEEE Transactions on Reliability, 27(4):254-257.



48. *Lehtelä, M.*, 1990. Computer Aided Failure Mode and Effect Analysis of Electronic Circuits, Jour. Microelectron Reliability, 30(4): 761-773.
49. *Lewis, E.E.*, 1987. Introduction to Reliability Engineering, John Wiley & Sons New York:329-336..
50. *Lieberman, P.*, 1990. Design FMEA and The Industry, Jour. Automotive Engineering, 98 (7):31-33.
51. *Lowe, T., Mc Bean, G.M.*, 1989. Honesty Without Fear, Jour. Quality Progress, 22(11).
52. *Ludwig, L. D.*, 1989. Improve Sensor System Reliability/Performance Utilizing FMECA Techniques, Proceeding 35.th International Instrumentation Symposium, Orlando, USA., Publ. by ISA Services Inc: 599-607.
53. *Luhtra, P.*, 1991. FMECA: An Integrated Approach, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Orlando, USA., Publ. by IEEE: .235-241.
54. *Mc Kinney, B. T.*, 1991. FMECA The Right Way, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Orlando, USA., Publ. by IEEE: 253-259.
55. *MIL-STD 1629A*, 1984 (revised). Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, Department of Defence, U.S:A.
56. *Nolan, T.W., Provast, L.P.*, 1990. Understanding Variation, Jour. Quality Progress, 23(5): 70-78.
57. *Oakland, J.S.*, 1988. Statistical Process Control (A Practical Guide),Heinemann: London:146-147.
58. *O'Connor, P.D.*, 1986. Practical Reliability Engineering, John Wiley & Sons, Great Britian, 2 nd ed.: 141-147, 210-214.
59. *Önal, H.*, 1987. Ölçme Tekniği II, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul:10-11.
60. *Özkan, C.*, 1993 İnsan Hatalarının Sayısallaştırılması İçin bir Model, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
61. *Pau, L.F.*, 1988. Applications of Patern Recognition in Failure Diagnosis and Quality Control, In: P.R. Krishnah, C.R. Rao (Editörs) Handbook of Statistics, Vol 7 Elsevier Science Publishers B.V., The Netherland: 281-311.
62. *Plsek, P.E.*, 1989. FMEA for Procees Quality Planning, 43rd Annual Quality Congress Transactions, Toronto, Can., Publ. by ASCQ: 484-489.
63. *Pollack, H.W.*, 1988. Tool Design, 2nd edition, Prentice Hall:258-360.
64. *Polovko, A.*, 1968. Trans. by W.H. Pierce, Fundamentals of Reliability Theory Academic Press New York:6-8.



65. **Prasad, S.**, 1990. Improving Manufacturing Reliability in IC Package Assembly Using FMEA Technique, 9.th IEEE/CHMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, Washington, USA, Publ. by IEEE: 356-360.
66. **Price, C.J., Pugh, D.R., Wilson M.S., Snooke, N.**, 1995. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, 90-95.
67. **Pugh, D.R., Hunt J.E., Price C.J.**, 1994. Augmenting Raphael with Behaviour Charts, Proc. AAI Workshop on Functional Reasoning.
68. **Rengaswamy R.; Venkatasubramanian V.**, 1995. A Syntatic Pattern-recognition Approach for Process Monitoring and Fault Diagnosis, Jour. Engineering Application of Intelligence 1(8): 35-51.
69. **Roslund, J.L.**, 1989. Evaluating Management Objectives With the Quality Loss Function, Jour. Quality Progress, (8): 45-49.
70. **Sahni, A.**, 1993. Using Failure Mode and Effects Analysis to Improve Manufacturing Processes, Jour. Medical Device and Diagnostic.
71. **Sexton, D.R.**, 1991. An Alternative Method for Preparing FMECA's, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Orlanda, USA., Publ. by IEEE, 222-225.
72. **Shimbun, N. K.**, 1988. Poka-yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects, Productivity Press, Cambridge:1-29.
73. **Shingo, S.**, 1986. Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System. Translated by A.P. Dhillon, Productivity Press, Cambridge:112-128.
74. **Singpurwalla, N.D.**, 1971. Statistical Fatigue Models: A Survey, Jour. IEEE Transactions on Reliability 20(3):185-189.
75. **Shimizu, S., Sugawara. M., Sakurai. S., Mori, T., Saikawa, K.**, 1993. Decision-Making Support systems for Reliability-Centered Mintenance, Jour. Nuclear science and Technology, 30(6):505-515.
76. **Sonsoucy, R.**, 1990. Using Failure Mode and Effects Analysis for Production Planning, Proceedings of the 1990 Powder Metallurgy Conferance and Exhibition Part 3 , Pittsburgh, USA., Publ. by Metal Powder Industries Federation: 115-129.
77. **Stamatis, D.H.**, 1995a.Failure Mode and Effect Analysis- FMEA from Theory to Execution, ASQC Quality Press, Wisconsin.
78. **Stamatis, D.H.**, 1995b. Failure Mode And Effect Analysis (FMEA). ASQC 49th Annual Quality Congress Proceedings, Ohio:246-254.
79. **Starkley, C.V.**, 1988. Basic Engineering Design, A division of Holder 851, Stoughton:1-9.

80. *Stewart, N.*, 1988. Software Error Costs, Jour. Quality Progress, 21(Nov.):48-49.
  81. *Tükel, N.*, 1980. Konstrüksiyon ve İmalat Tekniğinde Uygulamalı Ölçme ve Kontrol Tekniği, Yalkın Ofset Matbası, İstanbul.
  82. *TS-ISO 9000* Kalite Yönetimi ve Kalite Güvencesi Standartları, 1991.TSE.
  83. *Ulerich, N.H., Powers, G.J.*,1988. On-line Hazard Aversion and Fault Diagnosis in Chemical Processes: The Diagraph + Fault-Tree Method, Jour. The Transaction on Reliability 37(2):171-177.
  84. *Van Gigch, J.P.*, 1986. Modelling, Metamodelling and Taxonomy of System Failures, Jour. IEEE Transactions on Reliability 35(2):131-136.
  85. *Wei, B.C.*,1991. A Unified Approach to Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA), Proceedings of the 1991 Annual Reliability and Maintainability Symposium, Orlando, USA, Publ. by IEEE: 260-271.
  86. *Zadeh,L.*, 1978. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility, Jour. Int. J. Fuzzy Sets and Systems, 1:3-28.
- 

***EKLER***

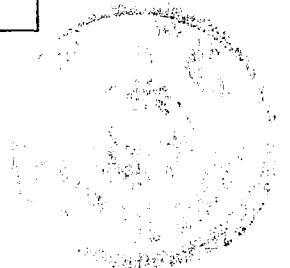


Şekil E.1.1. HŞEA Tablosu (MIL-STD 1629A)

SİSTEM:  
ANALİZ DÜZEYİ:  
ÇİZİMLER:  
GÖREV:

TARİH:  
SAYFA NO:  
ANLIZI YAPAN:  
ONAYLAYAN:

İşlem Numarası	Birim/ Fonksiyon Tanımı	Fonksiyon	Hata Şekilleri ve Nedenleri	Görev Fazı/İşlemsel Şekil	Yerel Etki	Bir Üst Düzeyde Etki	Son Etki	Hata Bulma Yöntemi	Alınacak Önlemler	Önemlilik Sınıf.	Notlar





Şekil E.1.2. Kritiklik Analizi Tablosu (MIL-STD 1629A)

SİSTEM :  
ANALİZ DÜZEYİ :  
ÇİZİMLER :  
GÖREV :

TARİH:  
SAYFA NO:  
ANLIZI YAPAN:  
ONAYLAYAN:

İşlem No	Birim Tanımı	Fonksiyon	Hata Şekilleri ve Nedenleri	Görev Fazı/ İşlemsel Şekil	Önemlilik Sınıfı	Hata Olasılığı		Hata Etkisi Olasılığı ( $\beta$ )	Hata Şekli Olası ( $\alpha$ )	Hata Oranı ( $\lambda p$ )	İşleme Zamanı (t)	Hata Şekli Kritik $C_m$	Birim Kritik $C_r$	Notlar	
						Hata Oranı	Veri Kaynağı								

1629A



Şekil E.1.4. Tasarım/Proses-HŞEA Örnek Tablo

Parça :  
Sistem :  
Tarih :

Tasarım mühendisi:  
Sayfa No:

Tasarım/ Proses Fonksiyonu	Hata Şekli	Hata Etkileri			Nedenler	Doğrulama	G Ö Z	Ö N E	B U L	R Ö S	Önerilen Faaliyet	Alınan Faaliyet	Sorumluluk
		Sistem/ montaj	Ürün	Kullanıcı									



## Şekil E.1.5. Otomotiv Endüstrisi İçin Önerilen Standard Tasarım-HŞEA Tablosu

Sistem :  
 Alt sistem :  
 Bileşen :  
 Model yılı :  
 Grup :

Tasarım sorumlusu:  
 Tarihi :

HŞEA no:  
 Sayfa no:  
 Hazırlayan:  
 HŞEA tarihi:

Birim/ Fonksiyon	Olası Hata Şekli	Olası Hata Etki(leri)	Ö N E M	K R İ T.	Olası Hata Nedeni	G Ö Z Ü K	Geçerli tasarım kontrolleri	B U L M A	R Ö S	Önerilen Faaliyet(ler)	Sorumlu ve tamamlanma zamanı	Alınan Sonuçlar							
												Alınan Faaliyet	Ö N E.	G Ö Z.	B U L.	R Ö S			



Şekil E.1.6. Otomotiv Endüstrisi İçin Önerilen Standard Proses-HŞEA Tablosu

Birim: HŞEA no:  
 Model yılı: Sayfa no:  
 Grup: Hazırlayan:  
 Proses sorumlusu: HŞEA tarihi:  
 Tarihi:

Amaç/ Fonksiyon	Olası Hata Şekli	Olası Hata Etki(leri)	Ö N E M	K R İ T.	Olası Hata Nedeni	G Ö Z Ü K	Geçerli tasarım kontrolleri	B U L M A	R Ö S	Önerilen Faaliyet(ler)	Sorumlu ve tamamlanma zamanı	Alınan Sonuçlar					
												Alınan Faaliyet	Ö N E.	G Ö Z.	B U L.	R Ö S	



Şekil E.1.7. Yaygın Bilinen HŞEA Tablosu

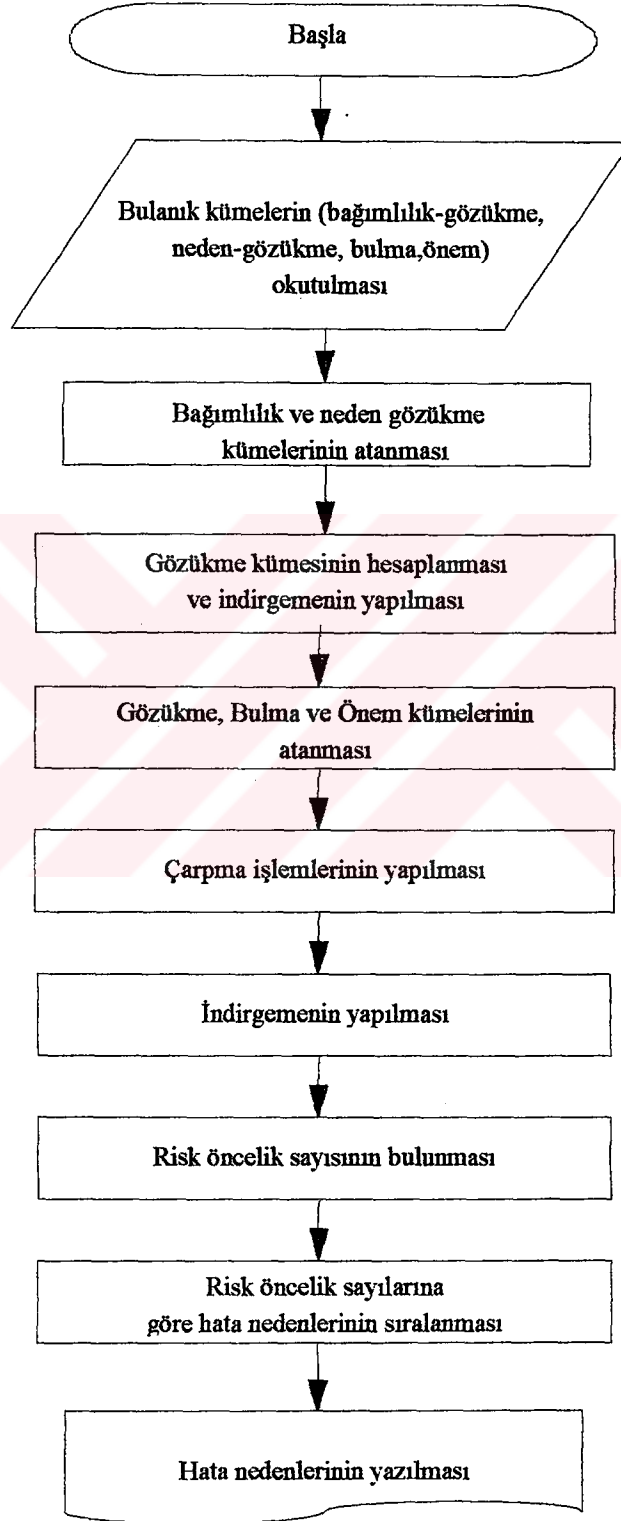
HŞEA Tipi:  
Hazırlayan :

HŞEA Tarihi:  
Sayfa No :

Sistem/ tasarım/ proses/ fonksiyon	Olası hata şekli	Olası hata etkisi(leri)	Olası hata nedeni(leri)	Hata bulma yöntemi	G ö z	Ö n e m	B u l m	R ö s	Önerilen faaliyet tarihi	Sorumlu kaynaklar tarihi	Faaliyet sonuçları						
											Alman Faaliyet	G ö z.	Ö n e.	B u l. I.	R ö s		



## EK 2. BİLGİSAYAR YAZILIMININ AKIŞ ŞEMASI VE LİSTESİ



Şekil E.2.1. Bilgisayar Programının Akış Şeması

## EK 2.2. OLUŞTURULAN BİLGİSAYAR PROGRAMI

```

10 COLOR 4,7
20 CLS
30 LOCATE 8,11:PRINT "*****"
40 LOCATE 9,11:PRINT "   BU PROGRAM SEMRA BORAN TARAFINDAN           "
50 LOCATE 10,11:PRINT "                               YAPILMIŞTIR           "
60 LOCATE 11,11:PRINT " PROGRAM HŞEKA YÖNTEMİNDE YER ALAN RÖS DEĞERİNİ "
70 LOCATE 12,11:PRINT "           BULANIK KÜMELER KURAMI İLE HESAPLAR           "
80 LOCATE 13,11:PRINT "*****"
90 LOCATE 23,16:INPUT "ÇALIŞTIRMAK İÇİN BİR TUŞA BASINIZ",XS
100 IF XS<>" " THEN 100
110 CLS:COLOR 0,7
120 INPUT "HATA SAYISI=";HS
130 DIM CARP5(3,9),CARPA5(3,9),INDIRGE(27),UYELİK(27),OLASILIK(20,5),UYESON(20,5)
140 DIM OLASI1(HS*3), UYELİK2(HS*3) ,UYELİK21(HS*3) ,UYELİK22(HS*3), HATA(15)
150 DIM HATAŞ(20)
160 REM HATA GÖZÜKME, BULMA VE ÖNEMLİLİK FAKTÖRLERİNİN OKUTULMASI
170 FOR I=1 TO 20
180 READ HATAŞ(I)
190 NEXT I
200 REM BULANIK BAĞIMLILIK -GÖZÜKME- (BAC,BAN,BAZ) KÜMELERİNİN OKUNMASI
210 FOR I=1 TO 2
220 FOR J=1 TO 3
230 READ BAC(I,J)
240 NEXT J
250 NEXT I
260 FOR I=1 TO 2
270 FOR J=1 TO 3
280 READ BAN(I,J)
290 NEXT J
300 NEXT I
310 FOR I=1 TO 2
320 FOR J=1 TO 3
330 READ BAZ(I,J)
340 NEXT J
350 NEXT I
360 REM BULANIK NEDEN -GÖZÜKME- (GCY,GY,GO,GZ,GCZ) KÜMELERİNİN OKUNMASI
370 FOR I=1 TO 2
380 FOR J=1 TO 3
390 READ GCY(I,J)
400 NEXT J
410 NEXT I
420 FOR I=1 TO 2
430 FOR J=1 TO 3
440 READ GY(I,J)
450 NEXT J
460 NEXT I
470 FOR I=1 TO 2
480 FOR J=1 TO 3
490 READ GO(I,J)
500 NEXT J
510 NEXT I

```



```
520 FOR I=1 TO 2
530 FOR J=1 TO 3
540 READ GZ(I,J)
550 NEXT J
560 NEXT I
570 FOR I=1 TO 2
580 FOR J=1 TO 3
590 READ GCZ(I,J)
600 NEXT J
610 NEXT I
620 REM BULANIK BULMA KÜMELERİNİN OKUNMASI
630 FOR I=1 TO 2
640 FOR J=1 TO 3
650 READ BCY(I,J)
660 NEXT J
670 NEXT I
680 FOR I=1 TO 2
690 FOR J=1 TO 3
700 READ BY(I,J)
710 NEXT J
720 NEXT I
730 FOR I=1 TO 2
740 FOR J=1 TO 3
750 READ BO(I,J)
760 NEXT J
770 NEXT I
780 FOR I=1 TO 2
790 FOR J=1 TO 3
800 READ BZ(I,J)
810 NEXT J
820 NEXT I
830 FOR I=1 TO 2
840 FOR J=1 TO 3
850 READ BCZ(I,J)
860 NEXT J
870 NEXT I
880 REM BULANIK ÖNEM (OCY,OY, OOR,OZ,OCZ) KÜMELERİNİN OKUNMASI
890 FOR I=1 TO 2
900 FOR J=1 TO 3
910 READ OCY(I,J)
920 NEXT J
930 NEXT I
940 FOR I=1 TO 2
950 FOR J=1 TO 3
960 READ OY(I,J)
970 NEXT J
980 NEXT I
990 FOR I=1 TO 2
1000 FOR J=1 TO 3
1010 READ OOR(I,J)
1020 NEXT J
1030 NEXT I
1040 FOR I=1 TO 2
1050 FOR J=1 TO 3
1060 READ OZ(I,J)
```

```

1070 NEXT J
1080 NEXT I
1090 FOR I=1 TO 2
1100 FOR J=1 TO 3
1110 READ OCZ(I,J)
1120 NEXT J
1130 NEXT I
1140 FOR S%=1 TO HS
1150 CLS
1160 REM BULANIK KÜMELER (NEDEN-GÖZÜKME)
1170 PRINT
1180 PRINT S%,". HATA İÇİN"
1190 PRINT "    NEDEN"
1200 PRINT "    1-ÇOK ZAYIF (GCZ)"
1210 PRINT "    2-ZAYIF (GZ)"
1220 PRINT "    3-ORTA (GO)"
1230 PRINT "    4-YÜKSEK (GY)"
1240 PRINT "    5-ÇOK YÜKSEK (GCY)"
1250 PRINT
1260 INPUT "    SEÇİMİNİZ...";INDIS00$
1270 REM BULANIK KÜMELER (BAĞIMLILIK-GÖZÜKME)
1280 CLS
1290 PRINT "    BAĞIMLILIK"
1300 PRINT "    1- ÇOK (BAC)"
1310 PRINT "    2- NORMAL (BAN)"
1320 PRINT "    3- AZ (BAZ)"
1330 PRINT
1340 INPUT "    SEÇİMİNİZ...";INDIS01$
1350 IF INDIS00$="GCZ" OR INDIS00$="gcz" THEN 1690
1360 IF INDIS00$="GZ" OR INDIS00$="gz" THEN 1740
1370 IF INDIS00$="GO" OR INDIS00$="go" THEN 1790
1380 IF INDIS00$="GY" OR INDIS00$="gy" THEN 1840
1390 IF INDIS00$="GCY" OR INDIS00$="gcy" THEN 1890
1400 IF INDIS01$="BAC" OR INDIS01$="bac" THEN 1940
1410 IF INDIS01$="BAN" OR INDIS01$="ban" THEN 1990
1420 IF INDIS01$="BAZ" OR INDIS01$="baz" THEN 2040
1430 CLS
1440 PRINT "    ÖNEM"
1450 PRINT "    1- ÇOK ZAYIF (OCZ)"
1460 PRINT "    2- ZAYIF (OZ)"
1470 PRINT "    3- ORTA (OOR)"
1480 PRINT "    4- YÜKSEK (OY)"
1490 PRINT "    5- ÇOK YÜKSEK (OCY)"
1500 PRINT
1510 INPUT "    SEÇİMİNİZ...";INDIS2$
1520 CLS
1530 PRINT "    BULMA"
1540 PRINT "    1-ÇOK ZAYIF (BCZ)"
1550 PRINT "    2-ZAYIF (BZ)"
1560 PRINT "    3-ORTA (BO)"
1570 PRINT "    4-YÜKSEK (BY)"
1580 PRINT "    5-ÇOK YÜKSEK (BCY)"
1590 PRINT
1600 INPUT "    SEÇİMİNİZ..."; INDIS3$
1610 IF INDIS2$="OCZ" OR INDIS2$="ocz" THEN 2530

```

```

1620 IF INDIS2$="OZ" OR INDIS2$="oz" THEN 2580
1630 IF INDIS2$="OOR" OR INDIS2$="oor" THEN 2630
1640 IF INDIS2$="OY" OR INDIS2$="oy" THEN 2680
1650 IF INDIS2$="OCY" OR INDIS2$="ocy" THEN 2730
1660 IF INDIS3$="BCZ" OR INDIS3$="bcz" THEN 2780
1670 IF INDIS3$="BZ" OR INDIS3$="bz" THEN 2830
1680 IF INDIS3$="BO" OR INDIS3$="bo" THEN 2880
1690 IF INDIS3$="BY" OR INDIS3$="by" THEN 2930
1700 IF INDIS3$="BCY" OR INDIS3$="bcy" THEN 2980
1710 FOR I=1 TO 2
1720 FOR J=1 TO 3
1730 CARP1(I,J)= GCZ(I,J)
1740 NEXT J,I
1750 GOTO 1380
1760 FOR I=1 TO 2
1770 FOR J=1 TO 3
1780 CARP1(I,J)= GZ(I,J)
1790 NEXT J,I
1800 GOTO 1380
1810 FOR I=1 TO 2
1820 FOR J=1 TO 3
1830 CARP1(I,J)= GO(I,J)
1840 NEXT J,I
1850 GOTO 1380
1860 FOR I=1 TO 2
1870 FOR J=1 TO 3
1880 CARP1(I,J)= GY(I,J)
1890 NEXT J,I
1900 GOTO 1380
1910FOR I=1 TO 2
1920 FOR J=1 TO 3
1930 CARP1(I,J)= GCY(I,J)
1940 NEXT J,I
1950 GOTO 1380
1960 FOR I=1 TO 2
1970 FOR J=1 TO 3
1980 CARP01(I,J)= BAC(I,J)
1990 NEXT J,I
2000 GOTO 2080
2010 FOR I=1 TO 2
2020 FOR J=1 TO 3
2030 CARP01(I,J)= BAN(I,J)
2040 NEXT J,I
2050 GOTO 2080
2060 FOR I=1 TO 2
2070 FOR J=1 TO 3
2080 CARP01(I,J)= BAZ(I,J)
2090 NEXT J,I
2100 REM GÖZÜKME İÇİN DEĞERLERİN BULUNMASI
2110 FOR I=1 TO 3
2120 FOR J=1 TO 3
2130 CARP04(I,J)=CARP1(1,I)*CARP01(1,J)
2140 IFCARP1(2,I)>CARP01(2,J) THEN CARPA04(I,J)=CARP01(2,J) ELSE
    CARPA04(I,J)=CARP1(2,I)
2150 NEXT J

```

```

2160 NEXT I
2170 FOR I=1 TO 3
2180 FOR J=1 TO 3
2190 'PRINT USING "####.###";CARP04(I,J);
2200 NEXT J:PRINT :NEXT I:
2210 REM GÖZÜKME DEĞERLERİ İÇİN İNDİRGEME
2220 S=0
2230 FOR I=1 TO 3
2240 FOR J=1 TO 3
2250 S=S+1
2260 İNDİR01(S)=CARP04(I,J):UYELİK01(S)=CARPA04(I,J)
2270 NEXT J,I
2280 FOR I=1 TO S-1
2290 FOR J=I+1 TO S
2300 IF İNDİR01(I)>İNDİR01(J) THEN SWAP İNDİR01(I),İNDİR01(J):SWAP ÜYELİK01(I),
    ÜYELİK01(J)
2310 NEXT J,I
2320 FOR J=1 TO S
2330 'PRINT USING "###.####";İNDİR01(J);:N=J MOD 3:IF N=0 THEN PRINT
2340 NEXT J:LPRINT
2350 ÜYE01=ÜYELİK01(1):X1=1
2360 FOR I=1 TO 3
2370 IF ÜYELİK01(I)>ÜYE01 THEN ÜYE01=ÜYELİK01(I):X1=I
2380 NEXT I
2390 ÜYE02=ÜYELİK01(4):Y1=4
2400 FOR J=4 TO 6
2410 IF ÜYELİK01(J)>ÜYE02 THEN ÜYE02=ÜYELİK01(J):Y1=J
2420 NEXT J
2430 ÜYE03=ÜYELİK01(7):Z1=7
2440 FOR K=7 TO 9
2450 IF ÜYELİK01(K)>ÜYE03 THEN ÜYE03=ÜYELİK01(K):Z1=K
2460 NEXT K
2470 PRINT X1,Y1,Z1
2480 PRINT İNDİR01(X1);" ";ÜYE01 SPC(2) İNDİR01(Y1);" ";ÜYE02 SPC(2)
    İNDİR01(Z1);" ";ÜYE03
2490 OLASIL01(1,1)=İNDİR01(X1):OLASIL01(1,2)=İNDİR01(Y1):OLASIL01(1,3)=İNDİR01(Z1)
2500 ÜYESON01(1,1)=ÜYE01:ÜYESON01(1,2)=ÜYE02:ÜYESON01(1,3)=ÜYE03
2510 FOR J=1 TO 3
2520 CARP11(1,J)=OLASIL01(1,J):CARP11(2,J)=ÜYESON01(1,J)
2530 NEXT J
2540 GOTO 1410
2550 FOR I=1 TO 2
2560 FOR J=1 TO 3
2570 CARP2(I,J)= OCZ(I,J)
2580 NEXT J,I
2590 GOTO 1640
2600 FOR I=1 TO 2
2610 FOR J=1 TO 3
2620 CARP2(I,J)= OZ(I,J)
2630 NEXT J,I
2640 GOTO 1640
2650 FOR I=1 TO 2
2660 FOR J=1 TO 3
2670 CARP2(I,J)= OOR(I,J)
2680 NEXT J,I

```



```
2690 GOTO 1640
2700 FOR I=1 TO 2
2710 FOR J=1 TO 3
2720 CARP2(I,J)= OY(I,J)
2730 NEXT J,I
2740 GOTO 1640
2750 FOR I=1 TO 2
2760 FOR J=1 TO 3
2750 CARP2(I,J)= OCY(I,J)
2780 NEXT J,I
2770 GOTO 1640
2800 FOR I=1 TO 2
2810 FOR J=1 TO 3
2820 CARP3(I,J)= BCZ(I,J)
2830 NEXT J,I
2840 GOTO 3020
2850 FOR I=1 TO 2
2860 FOR J=1 TO 3
2870 CARP3(I,J)= BZ(I,J)
2880 NEXT J,I
2890 GOTO 3020
2900 FOR I=1 TO 2
2910 FOR J=1 TO 3
2920 CARP3(I,J)= BO(I,J)
2930 NEXT J,I
2940 GOTO 3020
2950 FOR I=1 TO 2
2960 FOR J=1 TO 3
2970 CARP3(I,J)= BY(I,J)
2980 NEXT J,I
2990 GOTO 3020
3000 FOR I=1 TO 2
3010 FOR J=1 TO 3
3020 CARP3(I,J)= BCY(I,J)
3030 NEXT J,I
3040 'STOP
3050 FOR I=1 TO 2
3060 FOR J=1 TO 3
3070 'LPRINT USING"#####.##";CARP1(I,J);
3080 NEXT J
3090 'LPRINT
3100 NEXT I
3110 FOR I=1 TO 2
3120 FOR J=1 TO 3
3130 'LPRINT USING"#####.##";CARP2(I,J);
3140 NEXT J
3150 'LPRINT
3160 NEXT I
3170 FOR I=1 TO 2
3180 FOR J=1 TO 3
3190 'LPRINT USING"#####.##";CARP3(I,J)
3200 NEXT J
3210 'LPRINT
3220 NEXT I
3230 FOR I=1 TO 3
```

```

3240 FOR J=1 TO 3
3250 CARP4(I,J)=CARP11(1,I)*CARP2(1,J)
3260IF CARP11(2,I)>CARP2(2,J) THEN CARPA4(I,J)=CARP2(2,J) ELSE CARPA4(I,J)=CARP11(2,I)
3270 NEXT J
3280 NEXT I
3290 FOR L=1 TO 3
3300 K=0
3310 FOR I=1 TO 3
3320 FOR J=1 TO 3
3330 K=K+1
3340 CARP5(L,K)=CARP3(1,L)*CARP4(I,J)
3350 IF CARP3(2,L)>CARPA4(I,J) THEN CARPA5(L,K)=CARPA4(I,J) ELSE
      CARPA5(L,K)=CARP3(2,L)
3360 NEXT J
3370 NEXT I
3380 NEXT L
3390 FOR I=1 TO 3
3400 FOR J=1 TO 3
3410 'LPRINT USING"####.####";CARP4(I,J);:LPRINT " 3 ";: LPRINT USING"#.##";CARPA4(I,J);
3420 NEXT J
3430 'LPRINT
3440 NEXT I
3450 'LPRINT :LPRINT :LPRINT
3460 FOR I=1 TO 3
3470 FOR J=1 TO 9
3480 'LPRINT USING"##.####";CARP5(I,J);:LPRINT "3";: LPRINT USING"#.##";CARPA5(I,J);
3490 NEXT J
3500 'LPRINT
3510 NEXT I
3520 REM İNDİRGE
3530 S=0
3540 FOR I=1 TO 3
3550 FOR J=1 TO 9
3560 S=S+1
3570 İNDİRGE(S)=CARP5(I,J):UYELİK(S)=CARPA5(I,J)
3580 NEXT J
3590 'LPRINT
3600 NEXT I
3610 FOR I=1 TO S-1
3620 FOR J=I+1 TO S
3630 IF İNDİRGE(I)>İNDİRGE(J) THEN SWAP İNDİRGE(I),İNDİRGE(J):SWAP
      UYELİK(I),UYELİK(J)
3640 NEXT J
3650 NEXT I
3660 FOR J=1 TO S
3670 'LPRINT USING "###.####";İNDİRGE(J);:N=J MOD 9:IF N=0 THEN LPRINT:LPRINT
3680 NEXT J:'LPRINT :LPRINT
3690 FOR J=1 TO S
3700 'LPRINT USING "###.####";UYELİK(J);:N=J MOD 9:IF N=0 THEN LPRINT:LPRINT
3710 NEXT J
3720 UYE1=UYELİK(1):X=1
3730 FOR I=1 TO 9
3740 IF UYELİK(I)>UYE1 THEN UYE1=UYELİK(I):X=1
3750 NEXT I
3760 UYE2=UYELİK(10):Y=10

```

```

3770 FOR J=10 TO 18
3780 IF UYELIK(J)>UYE2 THEN UYE2=UYELIK(J):Y=J
3790 NEXT J
3800 UYE3=UYELIK(19):Z=19
3810 FOR K=19 TO 27
3820 IF UYELIK(K)>UYE3 THEN UYE3=UYELIK(K):Z=K
3830 NEXT K
3840 'PRINT X,Y,Z
3850 'LPRINT INDIRGE(X);"|" ;UYE1 SPC(2) INDIRGE(Y);"|" ;UYE2 SPC(2) INDIRGE(Z);"|" ;UYE3
3860 OLASILIK(S%,1)=INDIRGE(X):OLASILIK(S%,2)=INDIRGE(Y):OLASILIK(S%,3)=INDIRGE
(Z)
3870 'LPRINT :LPRINT
3880 UYESON(S%,1)=UYE1:UYESON(S%,2)=UYE2:UYESON(S%,3)=UYE3
3890 NEXT S%
3900 FOR I=1 TO HS
3910 LPRINT "P";I;" = {" ;:LPRINT SPC(1) USING "_(.#####)";OLASILIK(I,1);:LPRINT "|"
";:LPRINT USING "#.###_";UYESON(I,1);:LPRINT SPC(1) USING
"_(.#####)";OLASILIK(I,2);:LPRINT "|" ;:LPRINT USING "#.###_";UYESON(I,2);
3920 LPRINT SPC(1) USING "_(.#####)";OLASILIK(I,3);:LPRINT "|" ;:LPRINT USING
"#.###_";UYESON(I,3);:LPRINT "}" ;:LPRINT
3930 NEXT I
3940 K1=0
3950 FOR I=1 TO HS
3960 FOR J=1 TO 3
3970 K1=K1+1
3980 'IF UYESON(I,J)<>0! THEN OLASI1(K1)=OLASILIK(I,J):UYELIK2(K1)=UYESON(I,J)
3990 OLASI1(K1)=OLASILIK(I,J):UYELIK2(K1)=UYESON(I,J)
4000 NEXT J:NEXT I
4010 ENBUYUK=0!
4020 FOR I=1 TO K1
4030 IF OLASI1(I)>ENBUYUK THEN ENBUYUK=OLASI1(I)
4040 NEXT I:LPRINT :LPRINT :LPRINT
4050 LPRINT "S = {" ;
4060 FOR I=1 TO K1
4070 LPRINT SPC(1) USING "_(.#####)";OLASI1(I);
4080 IF I=K1 THEN LPRINT "}" ;
4090 IF I MOD 3=0 THEN :LPRINT :LPRINT :LPRINT "
4100 NEXT I
4110 LPRINT :LPRINT :LPRINT
4120 FOR I=1 TO K1
4130 UYELIK21(I)=OLASI1(I)/ENBUYUK
4140 NEXT I
4150 LPRINT "M(S)";1;" = {" ;
4160 FOR I=1 TO K1
4170 LPRINT SPC(1) USING "_(.#####)";OLASI1(I);:LPRINT " " ;:LPRINT USING
#.###_";UYELIK21(I);:LPRINT SPC(1);
4180 IF I MOD 3=0 THEN LPRINT "}" ;:LPRINT :IF I<>K1 THEN LPRINT "M(S)";I/3+1;" = {" ;
4190 NEXT I
4200 FOR I=1 TO K1
4210 IF UYELIK2(I)<UYELIK21(I) THEN UYELIK22(I)=UYELIK2(I) ELSE
UYELIK22(I)=UYELIK21(I)
4220 NEXT I:LPRINT :LPRINT
4230 LPRINT "S";1;"O = {" ;
4240 FOR I=1 TO K1

```

```

4250 LPRINT SPC(1) USING "_(#####";OLASI1(I);:LPRINT " | ";:LPRINT USING
    "#.###_";UYELIK22(I);:LPRINT SPC(1);
4260 IF I MOD 3=0 THEN LPRINT "}":LPRINT :IF I<>K1 THEN LPRINT "S";I/3+1;"O = {";
4270 NEXT I
4280 HATA1=0!:SAY=0:LPRINT :LPRINT
4290 FOR I=1 TO K1-1
4300 IF UYELIK22(I)>UYELIK22(I+1) THEN HATA1=UYELIK22(I) ELSE
    HATA1=UYELIK22(I+1)
4310 IF (I+1) MOD 3=0 THEN SAY=SAY+1: HATA(SAY)=HATA1:HATA1=0!:I=I+2
4320 NEXT I
4330 LPRINT "Ho = { ";
4340 FOR I=1 TO SAY
4350 LPRINT "(";HATA$(I);",",":LPRINT USING "#####_";HATA(I);:IF I<>SAY THEN LPRINT "
    ",
4360 NEXT I
4370 LPRINT "}"
4380 FOR I=1 TO SAY-1
4390 FOR J=I+1 TO SAY
4400 IF HATA(I)<HATA(J) THEN SWAP HATA(I),HATA(J):SWAP HATA$(I),HATA$(J)
4410 NEXT J,I:LPRINT :LPRINT
4420 FOR I=1 TO SAY
4430 LPRINT "(";HATA$(I);",",":LPRINT USING "#####_";HATA(I)
4440 NEXT I
4450 GOTO 10
4460 DATA HATA1,HATA2,HATA3,HATA4,HATA5,HATA6,HATA7,HATA8,HATA9, HATA10
4470 DATA HATA11,HATA12,HATA13,HATA14,HATA15,HATA16,HATA17,HATA18, HATA19
4480 DATA HATA20
4490 REM BULANIK KÜMELER (BAĞIMLILIK-GÖZÜKME)
4500 REM ÇOK
4510 DATA 0.8,0.85,0.88
4520 DATA 0.5,1.0,0.5
4530 REM NORMAL
4540 DATA 0.4,0.5,0.6
4550 DATA 0.5,1.0,0.5
4560 REM AZ
4570 DATA 0.15,0.2,0.25
4580 DATA 0.5,1.0,0.5
4590 REM BULANIK KÜMELER (NEDEN-GÖZÜKME)
4600 REM ÇOK YÜKSEK
4610 DATA 0.95,0.99,1.0
4620 DATA 0.75,0.95,1.0
4630 REM YÜKSEK
4640 DATA 0.7,0.8,0.9
4650 DATA 0.5,1.0,0.5
4670 REM ORTA
4680 DATA 0.5,0.6,0.75
4690 DATA 0.66,1.0,0.25
4700 REM ZAYIF
4710 DATA 0.25,0.3,0.45
4720 DATA 0.75,1.0,0.5
4730 REM ÇOK ZAYIF
4740 DATA 0.05,0.1,0.15
4750 DATA 1.0,1.0,0.75
4760 REM BULANIK KÜMELER (BULMA)
4770 REM ÇOK YÜKSEK

```



4780 DATA 0.01,0.05,0.1  
4790 DATA 1.0,0.95,0.5  
4800 REM YÜKSEK  
4810 DATA 0.1,0.2,0.3  
4820 DATA 0.5,1.0,0.5  
4830 REM ORTA  
4840 DATA 0.25,0.4,0.5  
4850 DATA 0.25,1.0,0.5  
4860 REM ZAYIF  
4870 DATA 0.7,0.8,0.9  
4880 DATA 0.5,1.0,0.5  
4890 REM ÇOK ZAYIF  
4900 DATA 0.9,0.99,1.0  
4910 DATA 0.5,0.95,1.0  
4920 REM BULANIK KÜMELER (ÖNEM)  
4930 REM ÇOK YÜKSEK  
4940 DATA 0.95,0.99,1.0  
4950 DATA 0.75,0.95,1.0  
4960 REM YÜKSEK  
4970 DATA 0.75,0.8,0.85  
4980 DATA 0.75,1.0,0.75  
4990 REM ORTA  
5000 DATA 0.55,0.6,0.7  
5010 DATA 0.83,1.0,0.5  
5020 REM ZAYIF  
5030 DATA 0.2,0.3,0.5  
5040 DATA 0.5,1.0,0.3  
5050 REM ÇOK ZAYIF  
5060 DATA 0.01,0.1,0.15  
5070 DATA 1.0,1.0,0.75  
5080 END

□

## **ÖZGEÇMİŞ**

1963 yılında Adapazarı'nda doğdu. İlk ve orta öğretimini Adapazarı'nda tamamladı. 1979 yılında Sakarya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Endüstri Mühendisliği Bölümünü kazandı. Lisans eğitimini tamamladığı 1983 yılında, İTÜ İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği programında Yüksek Lisansa başladı ve 1987 yılında bitirdi. 1991 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği'nde Doktora programına başladı. 1986-1995 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi ve daha sonra Öğretim Görevlisi olarak görev yaptı. Halen Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde aynı göreve devam etmektedir.

