

154216

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HATA TÜRÜ ve ETKİLERİNİN BULANIK KÜMELER YAKLAŞIMIYLA ANALİZİ

Endüstri Müh. Önder ÖNDEMİR

FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Sistem Mühendisliği Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL (YTÜ)

Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN (İTÜ)

Y. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI (YTÜ)

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	IV
KISALTIMA LİSTESİ.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VIII
ÖNSÖZ.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ	1
2. KALİTE KAVRAMI	3
2.1 Kalitenin Tanımı	3
2.2 Kalitenin Tarihsel Gelişimi.....	5
2.3 Kalite Kavramının Türkiye'deki Gelişimi.....	6
2.4 Çağdaş Kalite Teknikleri	7
2.5 Kontrole Yönelik Teknikler.....	8
2.5.1 Muayene ve Deneyler.....	8
2.5.2 Örnekleme Planları.....	9
2.5.3 Ölçme Sistemi Yeterlilik Analizi	10
2.6 Önlemeye Yönelik Teknikler.....	12
2.6.1 Kalite Fonksiyon Açılımı (KFA)	12
2.6.2 Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA).....	14
2.6.3 İstatistiksel Proses (Süreç) Kontrolü (İPK)	15
2.6.4 Altı Sigma	20
2.6.5 Toplam Üretken (Verimli) Bakım.....	22
3. HATA KAVRAMI VE HATALARIN SINIFLANDIRILMASI.....	24
3.1 Hata ve Hasar Kavramı	24
3.2 Hataların Sınıflandırılması.....	25
3.2.1 Oluşum Aşamalarına Göre Hatalar	27
3.2.2 Niteliklerine Göre Hataların Sınıflandırılması.....	29
3.2.3 Oluşum Zamanına Göre Hatalar	30
3.2.4 Nedenlerine Göre Hatalar	30
3.2.5 Organizasyonla İlgili Hatalar	37
4. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ.....	41
4.1 HTEA Terminolojisi	44
4.2 HTEA Türleri.....	45
4.2.1 Sistem HTEA	47
4.2.2 Tasarım HTEA.....	47
4.2.3 Süreç HTEA.....	48

4.2.4 Servis HTEA	49
4.3 HTEA'nın Uygulanması.....	50
4.3.1 Kritik yada Önemli Karakteristikler ve Anahtar Belirteçler.....	52
4.4 HTEA Prosedürü.....	56
4.4.1 Tablo Değerlerinin Belirlenmesi.....	60
4.4.2 Risk Öncelik Sayısının Hesaplanması.....	63
4.5 HTEA'nın Yorumlanması	64
4.6 HTEA Çalışması Tamamlandıktan Sonra Yapılacaklar.....	65
5. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİNİN BULANIK KÜMELER YAKLAŞIMIYLA ANALİZİ	67
5.1 Bulanık Mantık	67
5.1.1 Belirsizlik ve Kesin Olmayış	69
5.1.2 Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri	70
5.1.3 Bulanık Sistem	71
5.1.4 Üyelik Fonksiyonları.....	75
5.1.5 Bulanık Kümelerde Kural Tabanı ve Çıkarım Süreci	85
5.2 HTEA İçin Bulanık Kümeler Yaklaşımının Gerekliliği.....	90
5.2.1 Geleneksel HTEA'nın Eksikleri	90
5.3 HTEA İçin Bulanık Kümeler Yaklaşımıyla Bir Model Önerisi	91
5.3.1 Çalışmanın Amacı	91
5.3.2 Modelin tanıtılması.....	91
5.3.3 Geliştirilen Model ve Modelin Hürsan Tekstil'de uygulanması.....	92
5.3.4 Uygulama Sonucu	104
6. SONUÇLAR.....	106
EKLER.....	110
EK 1 ÜYELİK FONKSİYONLARININ OLUŞTURULMASI SIRASINDA UZMANLARIN VERDİKLERİ YANITLAR (2 SAYFA).....	110
ÖZGEÇMİŞ.....	112

SİMGE LİSTESİ

C_m	Makine yeterliliği
C_{mk}	Makine performansı
C_p	Proses yeterliliği
C_{pk}	Proses performansı
c_i	i. uzmanın uzmanlık katsayısı
D	Uzmanlardan alınan girdi bulanık kümesinin çekirdek değeri
O	Hata olasılığının katsayısı
Ş	Hata şiddetinin katsayısı
K	Hata keşfedilebilirliğinin katsayısı
L	Uzmanlardan alınan girdi bulanık kümesinin alt sınır değeri
R	Her hangi bir çıktı bulanık kümesi
S	Standart sapma
T_s	Spesifikasyon aralığı
T_{Nat}	Doğal Tolerans
U	Uzmanlardan alınan girdi bulanık kümesinin üst sınır değeri
X_{ort}	Üretilen parça ölçümlerinin ortalaması
x_a	X ekseninde herhangi bir sayı
x_b	X ekseninde herhangi bir sayı
x_s	Risk derecesinin durulaştırılmış değeri
μ	Üyelik derecesi
$\mu_A(x)$	x değerinin A kümesindeki üyelik derecesi

KISALTMA LİSTESİ

AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
ATS	Alt Tolerans Sınırı
HTEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi
İPK	İstatistiksel Proses Kontrol
KALDER	Kalite Derneği
KFA	Kalite Fonksiyon Açılımı
RÖS	Risk Öncelik Sayısı
TÜB	Toplam Üretken Bakım
ÜTS	Üst Tolerans Sınırı



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kalite Çemberi (Ross, 1989).....	4
Şekil 2.2 Kalite Fonksiyon Açılımı İlişki Matrisi	13
Şekil 2.3 Takip çizelgesi	17
Şekil 3.1 Üretim İçi Hataların Sınıflandırılması (Boran,1995)	26
Şekil 4.1 Risk faktörleri (Stamatis, 1995)	41
Şekil 4.2 HTEA türleri ile bunların ilişkileri ve amaçları (Stamatis, 1995).....	46
Şekil 4.3 HTEA İlişkileri (Stamatis, 1995)	54
Şekil 4.4 Ürün mühendisliği ve HTEA yol haritası (Stamatis, 1995).....	55
Şekil 4.5 HTEA süreci (Pillay ve Wang, 2003)	57
Şekil 5.1 Klasik Sistem (Şen, 2001).....	73
Şekil 5.2 Genel Bulanık Sistem (Şen, 2001).....	74
Şekil 5.3 Bitişik dikdörtgen gösterim.....	75
Şekil 5.4 Bitişik üçgen gösterim.....	75
Şekil 5.5 Örtüşmeli üçgen gösterim	76
Şekil 5.6 Bulanık küme	77
Şekil 5.7 Bir Bulanık Kümenin Çekirdek, Destek ve Sınır Kısımları (Şen, 2000).....	78
Şekil 5.8 Normal Bulanık Küme (Ross,1995).....	78
Şekil 5.9 Subnormal Bulanık Küme (Ross,1995)	79
Şekil 5.10 Konveks normal Bulanık Küme (Ross, 1995)	79
Şekil 5.11 Nonkonveks normal Bulanık Küme(Ross, 1995)	80
Şekil 5.12 Bulanık kümelerin birleşme özelliği	81
Şekil 5.13 Bulanık kümelerin kesişme özelliği	81
Şekil 5.14 Bulanık kümelerin evrik alma özelliği	82
Şekil 5.15 Mesafe bulanık alt kümeleri.....	84
Şekil 5.16 Bir girdi altkütmesinin bir çıktı altkütmesine gitmesi (MathWorks, 1995).....	85
Şekil 5.17 Servis kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu.....	86
Şekil 5.18 Yemek kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu	87
Şekil 5.19 İki girdi değişkeninin bulanıklaştırılması	87
Şekil 5.20 Bahşış miktarı değişkeninin üyelik fonksiyonu	88
Şekil 5.21 Bulanık çıkarım kümesi	88
Şekil 5.22 Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma.....	89
Şekil 5.23 Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma (Şen,2001)	89
Şekil 5.24 Olasılık (Şiddet ve Keşfedilebilirlik için de) üyelik fonksiyonu	94

Şekil 5.25 Düzeltilmiş üyelik fonksiyonu	95
Şekil 5.26 HATA 1'e ait olasılık girdi kümesinin üyelik derecesinin tayini	98
Şekil 5.28 KURAL 1'e ait çıktı bulanık kümesi	100
Şekil 5.29 KURAL 3, KURAL 4 ve KURAL 7'ye ait çıktı bulanık kümesi	101
Şekil 5.30 KURAL 5, KURAL 6, KURAL 8 ve KURAL 9'a ait çıktı bulanık kümesi	101
Şekil 5.31 HATA 1'e ait risk bulanık kümesi	102



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 İnsan Hataları ve Çözüm Yolları.....	38
Çizelge 4.1 Risk analizindeki anlayışın değişimi (Stamatis, 1995)	42
Çizelge 4.2 Amerika’da %99.9 kalitenin anlamı (Stamatis, 1995).....	52
Çizelge 4.3 HTEA Bilgi Formu (Pyzdek,2003).....	59
Çizelge 4.4 HTEA için olasılık çizelgesi	61
Çizelge 4.5 HTEA için şiddet çizelgesi.....	62
Çizelge 4.6 HTEA için keşfedilebilirlik çizelgesi.....	63
Çizelge 5.1 Sistem analizi sonuçları.....	93
Çizelge 5.2 Uzmanlar ve uzmanlık katsayıları.....	95
Çizelge 5.3 Uygulama için oluşturulan kurallar.....	96
Çizelge 5.4 HATA1 için uzmanlardan toplanan risk faktörü değerleri	97
Çizelge 5.5 HATA 2 için uzmanlardan toplanan risk faktörü değerleri	102
Çizelge 5.6 HATA 2’nin risk değerinin belirlenmesinde kullanılan fazladan kurallar.....	103
Çizelge 5.7 HATA 3 için uzmanlardan toplanan risk faktörü değerleri	103
Çizelge 5.8 Hata türlerinin bulanık HTEA ile bulunan önem sıralaması.....	104
Çizelge 5.9 Hata türlerinin geleneksel HTEA ile bulunan önem sıralaması.....	104

ÖNSÖZ

Kalite üretim dünyasının vazgeçilmez bir parametresi olmuştur. Ve kalite geliştirme araçları da paralel olarak vazgeçilmezler arasına girmiştir. Bu araçların en önemlilerinden bir tanesi Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)'dir.

Kalite aracının kendisinin de kaliteli olması gerektiği şüphesizdir. Sürekli olarak iyileşme ve gelişme bu araçlar üzerinde de sağlanmalıdır. Bu sebeple, bu çalışmada HTEA tekniği etraflıca incelenmiş, eksikleri saptanmış ve yeni bir bulanık HTEA modeli geliştirilmiştir.

Son olarak; hayatını kaliteli evlat yetiştirmeye adanmış olan Annem'e ve onun şahsında tüm aileme, başta Prof. Dr. Hüseyin Başlıgil olmak üzere tüm hocalarıma, araştırma görevlisi arkadaşlarıma, Yıldız Teknik Üniversitesi Oyuncularına ve Hande Turan'a hayatımı anlamlandırdıkları ve bu çalışmayı oluşturdukları için teşekkür ederim.



ÖZET

Yöneticilerin düzeltme faaliyetlerine karar vermelerinde önde gelen etmenlerden biri olan kaynak kıtlığı, bu tekniklerle risklerin doğru belirlenmesi ve önceliklendirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. İleri kalite geliştirme tekniklerinden biri olan Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect Analysis-FMEA), işletmelerde riskleri ve iyileştirme faaliyetlerini ortaya çıkarmak ve bunları önceliklendirerek kıt kaynakların en etkin şekilde kullanılmasını sağlamak amaçlarına hizmet etmektedir.

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), bir ürün ya da sistemde oluşan ve/veya oluşabilecek hata türlerinin belirlenmesi ve müşteriler üzerindeki etkilerinin tanımlanması ile başlayan bir risk analizi tekniğidir. Bununla beraber, Hata Türü ve Etkileri Analizi tekniğinin geleneksel uygulamalarında, değer uyumsuzluğu oluşması ve farklı risklerin aynı önceliği alabilmesi gibi, sezgisellikten kaynaklanan çeşitli dezavantajlar ortaya çıkabilmektedir. Aynı zamanda; tekniğin geleneksel metodolojisi, risk faktörlerinin göreceli önemlerini dikkate almamaktadır.

Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin yukarıda kısaca değinilen olumsuzluklarının giderilmesi için bir bulanık mantık kural tabanı oluşturulması önerilmiş ve kullanımı açıklanmıştır.

Yapılan uygulama sonucunda, geleneksel HTEA yöntemi sonuçlarına yakın değerler elde edilmiştir. Ancak hata türlerinin istatistiksel değerlerinin bulunmadığı durumlar için bulanık kural tabanı yaklaşımının zorlayıcı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kalite İyileştirme, Bulanık Mantık, Hata, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA).

ABSTRACT

As a well known fact, sufficient resource is vital for executives in order to make proper decisions regarding correction of activities, and is one of the most important elements in the decision making process. However, the implication of these new techniques cause lack of resource required for the decision making environment. Therefore, detecting the risk factors accurately and determining their precedence relationships became an important issue for today's businesses.

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) which is an advanced quality improvement technique, aids in discovering risks, achieving preventive improvement activities, and using limited resources effectively by preceding risks. FMEA is a risk analysis technique that initiates with the identification of failure modes emerged and/or tended to emerge, and take their effects on customers into account. Conventional implementation of FMEA is associated with various disadvantages due to its heuristic nature, viz., lack of value harmony, and the usage of identical precedence values for various risks. Further, conventional FMEA does not take relative importance of risk factors into account.

A fuzzy logic rule base development is proposed and applied to eliminate the drawbacks of Failure Mode and Effects Analysis mentioned above. The steps of the application of the proposed rule base are also explained in detail.

As a consequent of proposed method's application,

Keywords: Quality improvement, Fuzzy Logic, Failure, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).

1. GİRİŞ

Dünyada yaşanan ekonomik krizler, küreselleşme ve artan rekabet gibi faktörler, sanayi devriminin getirdiği “çok üretme” anlayışını benimsemiş olan üreticilerin, bu düşünceyi bir kenara bırakıp, artık seçme lüksü olan müşterinin eline hatalı ürünün geçmesini önleyecek hata ayıklama sistemleri geliştirmelerine neden olmuştur.

Mevcut pazar şartları ile gelişen kalite anlayışı, hata ayıklama sistemlerinin (kalite kontrol muayeneleri) de rafa kalkmasına neden olmuştur. Zira bu tarz bir yaklaşım, müşteri memnuniyetini oluşturmada büyük gelişmeler sağlamakla birlikte maliyetlerde de artışa neden olmaktadır. Hatalı ürünü ayıklamak demek, hata oluştuğu andan itibaren zaten hurdaya ayrılacak bir ürün için emek sarf etmek demektir. Dolayısıyla, hatanın oluşması hurda oluşumuyla malzeme kaybı oluşturduğu gibi, ona harcanan emeğin de israf olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, anlayışta gerçekleşen değişiklik, şirketleri hata önleme sistemlerine götürmüştür. (Öndemir vd., 2004)

Hata önleme teknikleri birçok hata için önleyici faaliyetler önerebilmektedir. Bu önleyici faaliyetler ise organizasyonlara çeşitli maddi yükler getirmektedir. Bu yükler, malzeme-makine yatırımı, ek çalışma saatleri şeklinde olabileceği gibi tasarım değişikliği şeklinde de olabilir. Ancak kaynaklar daima kısıtlı olduğu için, önleyici faaliyetlerin uygulanmasında yöneticilerin karşılaştıkları sorun, hangi faaliyetin daha öncelikli olduğuna karar verme noktasında ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, hata önleme tekniklerinde hataları risk derecesine göre önceliklendirebilme özelliği de aranmaktadır. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) bu özelliği metodolojisiinde barındıran bir tekniktir. HTEA ilk olarak 1960’larda Amerikan uzay programında kullanılmış, daha sonra da askeri standart olarak kabul edilmiştir (Pyzdek, 2003). 1970’lerden sonra da hata önleme sistemleri arayışında olan özel üretim firmaları tarafından rağbet görerek uygulamaya alınmıştır.

HTEA risk yönetimi kararlarını vermede bilgi kaynağı olarak kullanılmaktadır (Pillay ve Wang, 2002). “Ne yanlış gidebilir?” ve “Herhangi bir şey yanlış giderse bu nelere yol açar ve sonuçları ne olur?” sorularıyla bilgiye ulaşan HTEA tekniği, Altı Sigma anlayışının da önemli araçlarından biridir. Özellikle üretim sektöründe kullanılan bu teknik, servis sistemlerinde de kendine yer bulabilmektedir. HTEA uygulaması bir ürün ya da süreçte oluşabilecek hataları, bunların sebeplerini ve etkilerini ortaya koyarak risk tahmini yapan ve bu riskleri önem derecesine göre sıralayan bir tekniktir. Tüm bunların ötesinde HTEA uygulamasının temel sebebi sürekli gelişme ihtiyacıdır. Firmalardaki sürekli gelişme arzusu ve HTEA uygulamaları

birbiriyle çok güçlü bir etkileşimdedir. İkisinin de tek başına gerçekleşmesi düşünülemez (Eryürek, 2003).

Geleneksel ifadesi bu şekilde olan HTEA bazı eksiklerine rağmen günümüzde de oldukça iyi bir teknik olarak kabul edilmektedir (Pillay ve Wang, 2002).

HTEA'nın literatürde de karşılaşılan eksiklikleri karar aşamasında, hataların risk değerleri belirlenirken önemli sorunlar oluşturabilmektedir. Gerçek olmayan risk değerleri de düzeltici faaliyetler için harcanan kaynakların doğru biçimde kullanılmasını engellemektedir.

Bu sebeple, bu çalışmada risk değerlerinin belirlenmesinde geleneksel HTEA'nın temel sorunlarından arınmış yeni bir model geliştirilmiştir. Bulanık mantık yaklaşımını esas alan bu yeni model, HTEA'nın karar aşamasında ortaya çıkan yetersizlikleri ortadan kaldırması amacıyla geliştirilmiştir.

Geleneksel HTEA'nın temel sorunlarını ortadan kaldırmak için geliştirilen model bu alanda yapılmış yabancı makaleler ve kitaplar ile çeşitli yerli ve yabancı çalışmalardan temelini almıştır.

Çalışmada, kalite ve hata kavramı genel olarak özetlenmiş ve HTEA tekniği ile bulanık mantık yaklaşımı detaylı olarak anlatılmıştır; daha sonra da önerilen model sunularak bir uygulaması gösterilmiştir.

2. KALİTE KAVRAMI

2.1 Kalitenin Tanımı

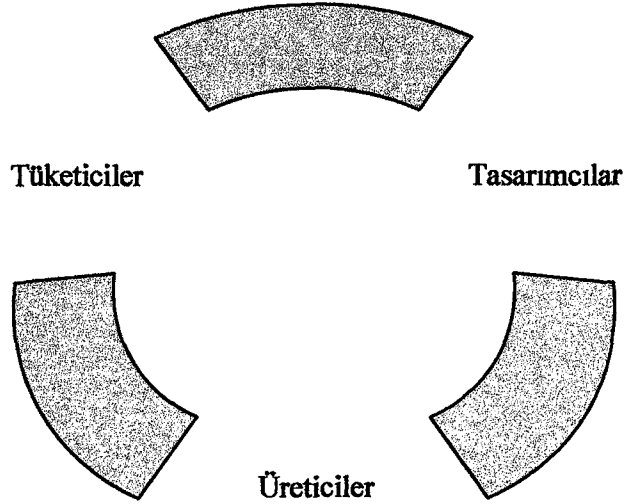
Gündelik yaşantıda sıklıkla kullanılan kalitenin sözlüklerdeki terimsel karşılığı "nitelik"tir. Ancak tek başına nitelik kelimesi mühendislik alanlarında kullanılan kaliteyi açıklamaya yetmez. Dahası, mühendislik alanlarında bahsi geçen kalite, sistemli çalışmalara da işaret eden çok boyutlu bir kavramdır. Zaman içerisinde de bir çok tanımı yapılmış olan kalitenin bu tanımlarının hiç biri yanlış değilse de, genellikle toplumda yaşanan değişimden dolayı bu tanımlar yetersiz kalmış ve yeni tanımlara ihtiyaç duyulmuştur.

Geleneksel anlamda kalite kavramı, standartlara uyum olarak tanımlanmaktadır. Ancak günümüzde kalite kavramı, dar tanımlama kalıplarından çıkarak, esnek ve dinamik bir çerçeve içine yerleştirilmiştir. Bu özelliğiyle kalite kavramı, stratejik bir yönetim aracı durumuna gelmiştir. Çağdaş kalite anlayışına göre kalite; "Bir mal veya hizmetin gereksinim ve beklentileri karşılayabilme yeteneği" olarak tanımlanmaktadır.(Şimşek, 2000)

Kalitenin temel özelliği, bir malın veya hizmetin müşteri tatminini sağlayacak bazı önemli özellikleri bünyesinde bulundurmasıdır. Bu özelliklere örnek; tasarımda kusursuzluk, kullanımda kusursuzluk, fiyatta kusursuzluk, teslim süresinde kusursuzluk, satış süresinde kusursuzluk verilebilir. (Şimşek, 2000)

Kalite kavramı insanların ve sistemlerin "hata yapması" ve "mükemmele ulaşma isteği" gerçeğinden ortaya çıkmıştır. Latince 'nasıl oluştuğu' anlamına gelen "Qualis" kelimesinden türemiş ve "Qualitas" kelimesiyle ifade edilmiştir. Kalite'nin değişik tanımları bulunmaktadır:

- Kalite; belirlenen şartlar altında ve belirlenen bir zaman süresi içinde istenilen fonksiyonları yerine getirebilme kabiliyetidir.
- Kalite, bir ürünün kullanım uygunluğunu belirleyen özelliklerinin tümüdür.
- Kalite, herhangi bir ürün sınıfının özelliklerinin insan topluluklarının istek potansiyelini karşılayabilme derecesidir.
- Kalite, önceden tespit edilmiş olan spesifikasyonlara ya da standartlara göre üretim yapma olgusudur.



Şekil 2.1 Kalite Çemberi (Ross, 1989)

Tüketiciler, gerçekleştirdikleri alımlarla hangi ürünlerin performans ve fiyat bakımından kendi ihtiyaçlarına uygun olduğunu oylamış olurlar. Yani, değer biçen ve yön veren müşteridir, tüketicidir. Bir ürünün doğumu ise, tüketicilerin bir üründen ne istediklerinin ve belediklerinin tasarımcı tarafından öğrenilmesinden sonra başlar.(Şimşek, 2000)

Kısacası kalite, müşterilerin ihtiyaçlarını ve mantıklı beklentilerini tam ve sürekli olarak karşılayabilecek ürün ve hizmetleri en ekonomik bir şekilde üretmektir. Bu kapsamda Taguchi de kaliteyi, "kalite, ürünün müşterinin eline geçtiği andan itibaren vermiş olduğu zararın minimum seviyede olmasıdır" şeklinde tanımlamaktadır. Kalitede liderliği ele geçirebilmek için işletmedeki herkesin anlayabileceği ve hemfikir olacağı tek ve objektif bir kalite tanımı olmalıdır. Çünkü kalite, ticarete her zaman ürünün görünen ve müşteri tarafından aranan unsuru olmuştur. (Kovancı, 2001)

Ürünlerin, müşteri beklenti ve istekleriyle alakalı performanslarını açıklayan karakteristikleri mevcuttur. Bir arabanın yakıt tüketimi, pencerelerin ısı geçirme durumu gibi. İşte bir ürünün kalitesi bu karakteristikler sayesinde ölçülmektedir. Kalite, bir ürün tarafından yaşam döngüsü boyunca insanlara getirdiği kayıpla yakından ilgilidir.(Ross, 1989)

Konuyu başka bir yönden daha ele alacak olursak; kalitenin şu tanımları yapılabilir (Feigenbaum, 1991):

- Kalite, kusursuzluk anlayışına sistemli bir yaklaşımdır.
- Kalite, kullanıma uygunluktur.

- Kalite, şartlara uygunluktur.
- Kalite, bir ürün yada hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamıdır.
- Kalite, ürün yada hizmeti ekonomik bir yoldan üreten ve tüketici isteklerine cevap veren bir üretim sistemidir.

Kaliteli çalışmanın kazandıracakları şöyle sıralanabilir:

- Görevi en iyi şekilde yapmış olmanın gururu,
- İşlerin bir defa da kısa sürede doğru olarak yapılmasıyla ortaya çıkan verimlilik,
- Firmanın adının kaliteyle birlikte anılmasından kaynaklanan kazanç.

2.2 Kalitenin Tarihsel Gelişimi

Kalite kavramı ile ilgili ilk bilgilerle M.Ö. 2150 tarihli Hammurabi Yasalarında karşılaşılmalıdır. Bu yasalarda yer alan hükümlerden birisi “ Bir inşaat ustasının inşa ettiği bir ev, ustasının yetersizliği ve işini gerektiği gibi yapmaması nedeniyle yıkılarak ev sahibinin ölümüne yol açarsa, o usta öldürülecektir.” şeklindedir. M.Ö. 1450 yılında ise eski Mısır’ daki muayene elemanlarının, taş blokların yüzeylerinin dikliğini telden oluşturdukları bir araç ile kontrol ettikleri bilinmektedir. Bu örneklerden çıkarılabilecek genel sonuç, bu tarihlere kalitenin işin doğru yapılması ile eş anlamlı tutulduğudur.(Şimşek, 2000)

Fenikelilerde de oldukça etkili yaptırım yolları olduğu anlaşılmaktadır. Fenikeli bir denetçi, kalite standartlarına bir aykırılık gördüğünde bunun tekrarlanmasını kesinlikle önlemek için kusurlu malı imal edenin elini kesme yetkisine sahipti. (Feigenbaum, 1991)

Ülkemizde ise kalite bilinci ilk defa Ahilik teşkilatıyla ortaya çıkmış ve sanatkârlar hem eğitim hem de kalitecilik görevini yapmaya başlamışlardır. Ürettikleri mallarda kalite ön planda olmuş, ürünlerini ve müşterilerini iyi tanımışlardır.

19.yy’ın ikinci yarısından itibaren endüstriyel sistemin doğması ve üretimde büyük artışlar meydana gelmesi, kalite kavramının önemini bir anda ön plana çıkarmış ve bu alanda önemli gelişmelerin doğmasına yol açmıştır. Kalite kavramının bir sistem olarak ele alınması ve önceden belirlenmiş ilkelere dayandırılması ise ilk olarak ABD’de ortaya çıkmış, daha sonra Japonya ve Avrupa’daki gelişmelerle zirveye ulaşarak yönetim bilimi içerisindeki yerini almıştır.(Şimşek, 2000)

Kalitenin evrimi, şu dört aşamada gerçekleşmiştir:(Feigenbaum, 1991)

- 1) Son ürün kontrolü
- 2) İstatistiksel kalite kontrolü
- 3) Kalite güvence sistemi
- 4) Toplam kalite yönetimi.

Kalitenin tarihsel gelişimi son 70 yılı kapsayacak şekilde özetlenmek istenirse, şöyle bir sıralama oluşturulabilir:

1931 W. SHEWHART: İstatistiksel Kalite Kontrol

1940 STANFORD : Seminerleri(ABD)

1950 E. DEMİNG : Seminerleri (Japonya)

1951 DEMİNG: KALİTE ÖDÜLÜ (Japonya)

1952 “KALİTE KONTROL” Dergisi (Japonya)

1954 J. JURAN: Kalite Yönetimin Sorumluluğudur(ABD)

1957 A. FEIGENBAUM: Toplam Kalite Kontrol(ABD)

1960 G. TAGUCHI : İstatistiksel Deney Tasarımı (Japonya)

1961 K. ISHIKAWA : Formenler İçin Kalite Kontrol Dergisi (Japonya)

1962 K. ISHIKAWA : Kalite Çemberleri (Japonya)

1969 KOBE STEEL : Quality Function Deployment (Japonya)

1970 G. TAGUCHI : Quality Loss Function (Japonya)

1970 S. SHINGO : Poka-Yoke (Japonya)

1976 T. OHNO : Toyota Just-In-Time Sistemi (Japonya)

1980 G. Taguchi : Robust Design (Japonya)

1990 ve Ötesi..... YARATILAN KALİTE (Şimşek, 2000)

2.3 Kalite Kavramının Türkiye’deki Gelişimi

Türkiye’de kalite kavramına duyulan ilgi bazı spesifik gelişmeler ve değişiklikler sonucunda ortaya çıkmış ve artmaya başlamıştır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de kalite kavramının önemi anlaşılmış; fakat bu aşamaya gelinceye kadar da bazı noktalardan geçilmiştir.

Türkiye’de kaliteye duyulan ilgi, serbest ekonomiye geçilmesi ile artmaya başlamıştır. Büyük sanayi kuruluşlarının yabancı kuruluşlar ile yaptıkları ortaklıkları, Türkiye’de kaliteli üretimin ortak üretim yoluyla üretilen yabancı ürünleri tanıdıkça, yerli ürünlerde de aynı özellikleri istemeye başlamışlardır. Bu gelişmeler sanayi sektörünün, insan kaynakları ve eğitime daha fazla önem vermelerine ve bu alanda uzun vadeli yatırımlar yapmalarına neden olmuştur. Yıllar boyunca sadece iç pazara yönelik olarak üretim gerçekleştiren ve pazar kaygıları olmadığı için kendilerini yenileme ihtiyacı duymayan Türk şirketleri, Gümrük Birliği’ne giriş konusu gündeme gelince telaşa kapılmışlardır.(Şimşek, 2000)

Yukarıda gördük ki; Gümrük Birliği konusu gündeme gelince Türk şirketleri telaşa kapılmışlardır. Çünkü bu durumda o güne kadar rekabet konusunda pek sorunu olmayan şirketler, dünya pazarına açılacak ve büyük şirketlerle karşı karşıya kalacaklardı. Hayatta kalabilmenin tek yolu da o şirketlerle aynı veya yakın kaliteye sahip olabilmektir. Yani tek çıkar yol, kalitenin bir yaşam tarzı haline getirilmesidir.

Türkler açısından kalite konusundaki ilk yaptırımlar, ikinci Beyazıt tarafından çıkarılan 1502 tarihli “Kanunname-i İhtisab-ı Bursa” (Bursa Kontrol Kanunu) olup, günümüzdeki standartlara eşdeğer içeriklidir ve ceza hükümlerini de kapsamaktadır.(Topal, 2000)

1990 yılında ülkemizin önde gelen kuruluşları tarafından Kalite Derneği (KALDER) kurulmuştur. KALDER ve birçok Eğitim Danışmanlık şirketinin düzenlediği seminerlerde büyük, orta ve küçük ölçekli sanayi kuruluşları kalite konusunda bilgilendirilmiştir. Şirketler, kalite sistemi kurma ve varolan kalite sistemlerini geliştirme yolunda adımlar atmışlardır. 1992-1993 yılında Ulusal Kalite Kongresi ilk kez toplanmış ve 1993 Ödülü sahibini bulmuştur.(Şimşek, 2000)

2.4 Çağdaş Kalite Teknikleri

Bir önceki bölümde, kalite için genel bir çerçeve, bu konuda uluslararası deneyime ve saygınlığa sahip kişilerin düşünce ve tanımlamaları ile birlikte verilmişti. Bunu takiben günümüze kadar olan gelişmeler özet olarak ele alınmıştı. Bu bölümde ise, günümüzde yoğun olarak kullanılan kalite araçları ele alınacaktır.

Günümüzde kullanılan kalite araçlarını genel olarak iki kategori altında tanımlamak uygun olacaktır.

- 1) Kontrole Yönelik Teknikler
- 2) Önlemeye Yönelik Teknikler

Kontrolle yönelik teknikler grubu altında

- Muayene ve Deneyler
- Örnekleme Planları
- Ölçme Sistemi Yeterlilik Analizleri verilebilir

Önlemeye yönelik teknikler kısmında ise belli başlı olarak;

- Kalite Fonksiyon Açılımı
- Hata Türleri ve Etki Analizi
- İstatistiksel Proses Kontrolü
- Altı Sigma
- Toplam Üretken Bakım

konuları ele alınabilir.

Çalışma kapsamında genel anlamda bilgi verici olması sebebiyle yukarıda ilk iki kalemde sıralanan kalite araçları genel anlamda özet olarak tanıtılacaktır.

2.5 Kontrolle Yönelik Teknikler

2.5.1 Muayene ve Deneyler

Kalitenin en eski ve genel tanımlarından bir tanesi şartnamelere uygunluktur. Bu tanıma göre bir ürünün kaliteli olup olmaması o ürünün belirli teknik koşulları sağlayıp sağlamadığına bağlıdır. İşte bu teknik özelliklerin varlığının sınanması da muayene ve deneylerle yapılır. Ürün ve üretimin kalite seviyesini tüketici ve kullanıcıların kabul edebilecekleri bir düzeyde tutabilmek için uygulanan tekniklerin en eski ve geleneksel olanı muayene ve deney yöntemidir. Burada hedeflenen, üretim sonrasında elde edilen ürünün tanımlanan değerlere uygun olup olmadığının saptanmasıdır. Dolayısıyla, bir muayene işleminden söz edebilmemiz için önce söz konusu ürünün özelliklerinin önceden tanımlanmış olması gerekir. Bu gerekler, üretim öncesinde teknik dokümanlar üzerinde tanımlanmalıdır. Üründen beklenen özelliklerin tanımlandığı diğer önemli sistematik ise ulusal ve uluslararası standartlardır. Günümüzde, standartlar neredeyse tüm ürün ve hizmetleri kapsayacak şekilde yaygınlaşmıştır. Önceki yıllarda ulusal sınırlar içinde hazırlanan ve geçerli olan standartlar günümüzde uluslararası geçerliliği olan harmonize standartlar haline gelerek ürün ve hizmetlerin çok geniş bölgelerde geçerli ve eş özellikler taşımasını hedeflemektedir. Bu kapsamda bahsedilmesi gereken en

kapsamlı çalışma Avrupa Topluluğu Standartlar Komiteleri tarafından yapılmakta olup üye ülkelerin standartları European Norm (EN) adı altında harmonize edilerek yayınlanmaktadır. (Eryürek,2003)

Üretim sırasında ve sonrasında uygun yöntemler ve ölçme ekipmanları kullanılarak ürünün yukarıda bahsedilen kapsamda önceden tanımlanan özellikleri karşılayıp karşılamadığı belirlenir (Feigenbaum, 1991). Yapılan muayeneler, üretimin %100 üne uygulanabileceği gibi belirli frekanslarda örnekleme ile de olabilir. Ayrıca bazı durumlarda muayeneler ürünün özelliklerini limit değerlerde sorgulayacak şekilde tahribatlı da olabilir. Örnek gruplar üzerinde yapılan ölçmelerin sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik olarak çeşitli istatistiksel teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler bir sonraki bölümde incelenecektir. Muayene ve deneyler konusunda göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli konu ise "Kalibrasyon" dur. Ölçme ekipmanlarının kalibrasyonu, yapılan ölçümlerin doğruluğunun temel şartıdır.

2.5.2 Örnekleme Planları

Değişik uygulamalarda yapılan muayenelerde, muayene edilen parçanın hatasının çok kritik olmaması ve üretim sürecinin yeterli olması durumunda, üretilen parçaların tümünü muayeneye tabi tutmak yerine içinden belirli bir oranda ve tüm kitleyi temsil edeceğine inanılan bir örnek grup üzerinde muayenelerin gerçekleştirilmesinin çok daha düşük maliyetli ve zaman kazandıran bir yöntem olacağı açıktır. Burada önemli olan bu örnek grubunun nasıl seçileceği ve muayene sonucunda elde edilen sonuçların nasıl değerlendirileceğidir.

Örnekleme konusunda yapılan bilimsel çalışmaların ikinci dünya savaşı yıllarında hız kazandığı ve oluşturulan ilk Örnekleme Tablolarının ordu için üretim yapan işyerlerinde kullanıldığı bilinmektedir (Feigenbaum, 1991).

Daha sonraki yıllarda konu endüstride yaygınlaşmış ve günümüzde özellikle parti üretimleri hakkında karar vermeye yönelik olarak en çok uygulanan araç haline gelmiştir. Bu özelliği dolayısıyla Örnekleme Planlarının en çok kullanıldığı alan firma dışı üretimlerin kabul / red kararının verildiği "Giriş Kalite Kontrolü" dür.

Günümüzde örnekleme planları tek katlı, çift katlı, değişken şeklinde değişik ve uygulamaya özgü şekilde çeşitlenmiştir (Eryürek, 2003).

2.5.3 Ölçme Sistemi Yeterlilik Analizi

Yapılan muayenelerin sonucunda ürünlerin kabul edilebilir olup olmadıklarına karar verilir. Bu karar, aynı zamanda ürünün kalitesi ile toplam üretim maliyeti arasında verilen bir karar halini alır (Halder, 1997). Karar verme sırasında genellikle kullanılan ölçme ekipmanının tamamen doğru sonuç verdiği ve ölçme sonuçlarının güvenilir olduğu kabul edilir. Bu kabulün her zaman doğru olup olmadığı karar verebilmek için aşağıdaki üç sorunun sağlıklı bir şekilde cevaplandırılması gerekir;

- Ölçme sistemi yeterli ayrımı yapabiliyor mu?
- Ölçme sistemi zaman içinde istatistiksel olarak kararlı mı?
- Ölçme değişkenliği (hatası) kabul edilebilir derecede küçük mü?

Bu soruların cevaplarının sağlıklı bir şekilde alınması süreçler ve ürünler üzerinde verilecek kararları önemli ölçüde etkiler. Bunu daha keskin olarak ifade edebilmek için aşağıdaki eşitliği göz önünde bulundurmak gerekir.

$$\text{Toplam Değişkenlik} = \text{Sürecin Değişkenliği} + \text{Ölçme Sisteminin Değişkenliği} \quad (2.1)$$

Burada, her zaman Ölçme Sisteminin Değişkenliğinin, Sürecin Değişkenliğinden düşük olması gerekir.

Ölçme sisteminin belirsizliğine sebep olabilecek olası parametreler aşağıda verilmiştir:

1) Ekipmandan Kaynaklanan Problemler

- Mekanik kararsızlık
- Elektriksel kararsızlık
- Yıpranma

2) Metottan Kaynaklanan Problemler

- Kalibrasyon problemleri
- Bakım eksikliği
- Zaman yetersizliği
- Ölçüm standardının yetersizliği

3) Operatörden Kaynaklanan Problemler

- Eğitim eksikliği

- Teknik yetersizlik
- Veri girişi hatası

4) Çevresel Faktörler

- Nem
- Temizlik
- Titreşim
- Elektriksel beslemede problem
- Isıl faktörler

Yukarıda sayılan tüm faktörlerin bileşkesi olarak ölçümün belirsizliği ölçülen ürün hakkında doğru karar vermeyi etkileyecek düzeyde artabilir (Halder, 1997).

Ölçmenin getireceği bu olumsuz etkiden kurtulabilmek için ölçüm neticelerine kayıtsız şartsız güvenmek yerine ölçme sisteminin "Tekrarlanabilirlik" ve "Tekrar Edilebilirlik" açısından değerlendirilmesi ve sonuçlara göre ölçme sisteminin söz konusu karakteristiği yeterli güvenilirlikte ölçüp ölçmediğine karar verilmelidir.

Yukarıda verilen tanımlamalarda ölçmenin aynı ekipmanla ve aynı operatörle tekrarlanması durumunda elde edilen sonuçların birbirine olan farkı tekrarlanabilirlik, ölçmenin aynı ekipman fakat farklı operatörlerle tekrarlanması durumunda sonuçların birbirine olan farkı ise tekrar edilebilirlik şeklinde tanımlanmaktadır.

Ölçme Ekipmanı Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Edilebilirlik Analizi (T&T Analizi) aşağıda sırasıyla anlatılan yöntem ile yapılır

- 1) Ölçme ekipmanının kalibrasyonu kontrol edilir, şüpheli bir durum söz konusu ise kalibrasyon yapılır
- 2) Birinci operatör örnekleri sırası ile ölçer
- 3) Diğer operatörler de örnekleri aynı sıra ile tekrar ölçerler
- 4) Operatörler 2. ve 3. adımları tanımlanan sayı kadar tekrar ederler
- 5) Ölçümler tablolara aktarılarak değerlendirilir

2.6 Önlemeye Yönelik Teknikler

2.6.1 Kalite Fonksiyon Açılımı (KFA)

Kalite Fonksiyon Açılımı, müşterinin sesinin ürün geliştirmeden üretime kadar olan süreçte uygulanabilecek teknik değerlere çevrilmesi işlemidir (Cristiano vd., 2000). Yang vd. (2003) tarafından da Kalite Fonksiyon Açılımı, müşteri ihtiyaçlarını dikkate alarak, üretim ve tasarım elemanlarının uyumunu güvence altına alan ve arttıran bütünlüklü bir karar verme metodolojisi olarak tanımlanmaktadır. Değişik kaynaklarda yöntem Kalite Fonksiyon Yayılımı veya Kalite Fonksiyon Çözünümlü gibi değişik tanımlamalarla da isimlendirilmektedir. Uluslararası tanımlaması ile "Quality Function Deployment" dir.

Yukarıda, KFA ile pazarın nitel taleplerinin müşterinin sesi, ürüne yönelik nicel parametrelere (teknik değerler) dönüştürüldüğü söylenmişti. Örneğin, müşterinin "sessiz buzdolabı" şeklinde ilettiği talebinin, dBA (desibel) olarak ölçülebilir bir büyüklüğe dönüştürülerek bunun gerektirdiği kompresör tipi, ürünün diğer elemanları ve izolasyonunu belirlemek gibi.

Yukarıda anlatılanlardan anlaşılacağı gibi, KFA karmaşık ve detaylı bir çalışma gerektirir. KFA planlaması sırasında mühendislik karakteristikleri ve müşteri özelliklerinin öncelik sırasına sokulması için gereken bilgiler kolay elde edilemez (Han vd.). Pazarlama, mühendislik ve üretim yeteneklerinin ve bilgi birikiminin bir arada koordinasyonu gerekmektedir.

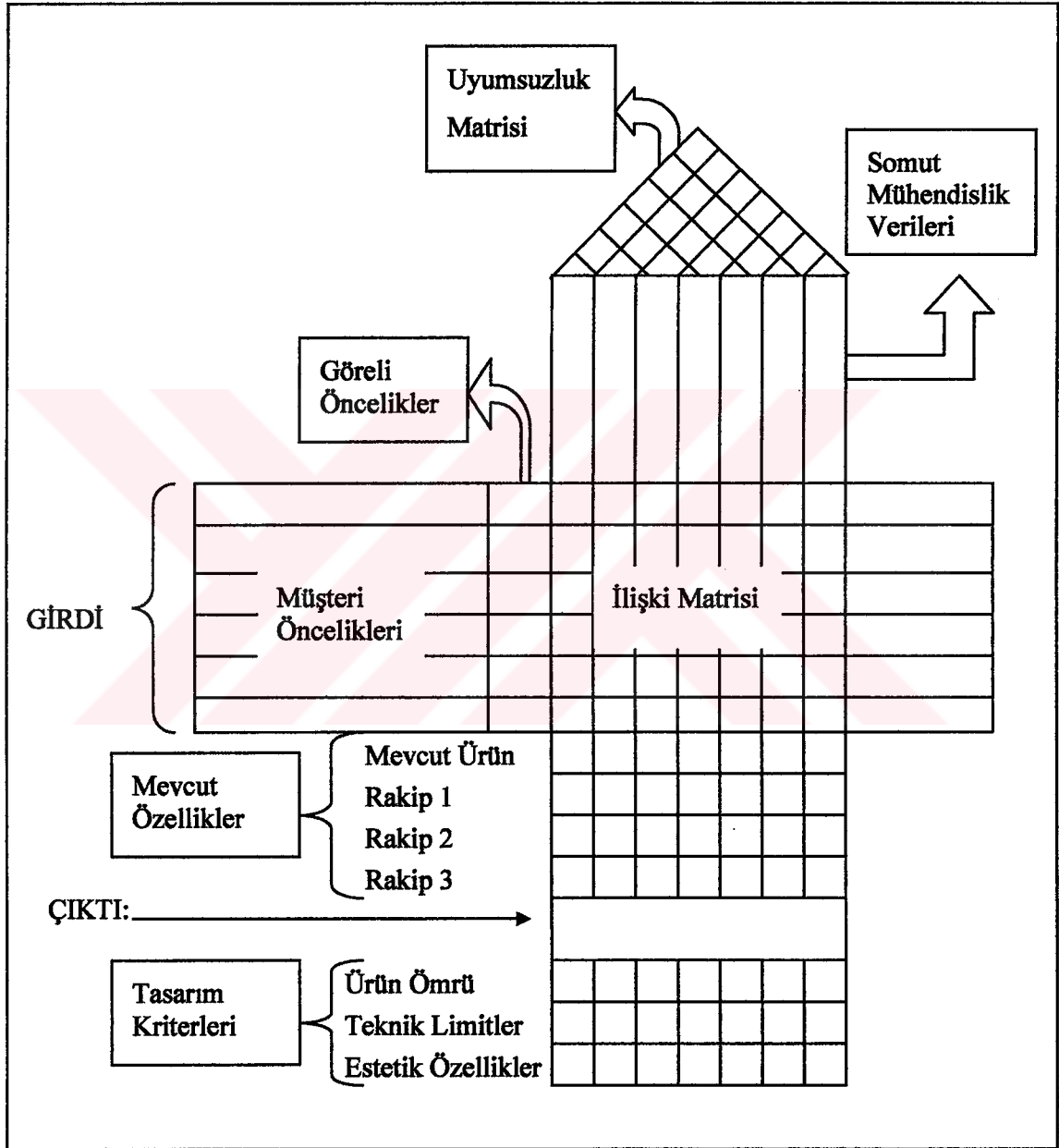
Kalite Fonksiyon Açılımı'nda müşteri istekleri ile teknik parametrelerin yan yana getirildiği bir matris sayesinde müşterinin tüm beklentileri ile ilgili teknik özellikler arasında köprü kurulmuş olur. Böylelikle mühendisliğin nereye konsantre olacağı, nerelere yatırım yapmanın gereksiz olduğu, ayrıca birbirleriyle çelişen beklenti veya teknik özellikler ortaya çıkmış olur. Kalite - Fonksiyon Matrisi (Şekil 2.2) bazı ilave bilgilerle zenginleştirilerek daha kullanışlı hale getirilebilir, bunlar (Eryürek, 2003);

- Rakiplerle kıyaslamalı olarak fiili teknik değerler.
- Kalite parametreleri (müşteri talepleri) ile fonksiyonel özellikler (teknik parametreler) arasındaki ilişki
- Hedef değerler (maliyetteki pay, zorluk katsayısı gibi bilgiler)

KFA önce Japonya'da sonra da ABD'de kullanılmaya başlanmıştır. Şu anda Japonya'daki bir çok endüstri ve bunların tedarikçileri bu tekniği yoğun olarak kullanmaktadır. KFA kullanımı

ile daha kaliteli ürünler üretilir, başarı şansı artar, AR-GE zamanı ve maliyeti düşer. (Benner vd., 2003)

KFA işlemi, daha öncede belirtildiği gibi, tasarımda hangi noktalara ağırlık verilebileceği, hangi beklentiler veya teknik özellikler arasında hassas dengeler olduğunu ortaya çıkarmıştır. Çalışmanın tamamlanması ile kesinleştirilen öncelikler tasarıma ve üretim süreçlerine adapte edilir.



Şekil 2.2 Kalite Fonksiyon Açılımı İlişki Matrisi

2.6.2 Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)

Uluslararası literatürde "Failure Mode and Effect Analysis" (FMEA) diye adlandırılan hata ve problem önlemeye yönelik bir tekniktir. İlk kez 1960'lı yılların başında Ay Seyahati programlarında, NASA tarafından kullanılmıştır. Tekniğin amacı, hata ve arızaya meydan vermeyecek ürünlerin ortaya konabilmesidir. Yaklaşık 10 yıl kadar askeri sır olarak tutulduktan sonra, 1970'lerin başında askeri amaçlı hava araçları üretiminde kullanılmaya başlanmış ve "Askeri Dokümanlara" girmiştir. Daha sonra 1973 de ticari amaçlı uçak üreticileri de HTEA kullanmaya başladılar. 1975 de bilgisayar; 1980 de başta FORD olmak üzere otomotiv endüstrileri de, tekniği tasarım prosedürlerine aldılar. HTEA, 1985 den beri FIAT SPA tarafından da kullanılmaya başlamış olup böylece Avrupa'daki uygulaması yaygınlaşmıştır (Eryürek, 2003).

Uygulanmaya başladığı ilk yıllarda sadece tasarım amaçlı olarak kullanılan teknik, daha sonraki yıllarda sistem, süreç ve servis amaçlı olarak da önleyici bir yaklaşım olarak kullanılmaya başlanmıştır (Stamatis, 1995).

Uygulama şekli şöyle özetlenebilir :

- Analiz konusunun belirlenmesi
- Ekibin kurulması
- Fonksiyonun belirlenmesi
- Hata türlerinin irdelenmesi
- Hata etkilerinin tahmini
- Hata nedenlerinin belirlenmesi
- Olasılık, Şiddet ve Keşfedilebilirlik parametrelerinin ağırlıklandırılması
- RÖS değerlerinin belirlenmesi
- Önleyici faaliyetlerin belirlenmesi ve Önlem Sonrası RÖS Teyidi
- Değişiklik(ler) için planlama
- Sunuş ve onay
- Uygulama

Çalışmanın en kritik aşaması hata sebeplerinin Olasılık, Şiddet ve Keşfedilebilirlik açısından ağırlıklandırılmasıdır. Bu çalışmanın konusu olan bulanık kümeler yaklaşımı ile bu kritik

noktaya çare bulunmaya çalışılmıştır. Burada her özellik için 1-10 arasında bir ağırlık puanı verilir.

Daha sonra her üç puan birbiri ile çarpılarak Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanır ve belirli bir eşik değerin üzerinde kalan riskler için iyileştirme çalışması yapılır.

RÖS hesabının en çok kabul gören formülü çarpım ise de, toplama işlemiyle de RÖS hesabı yapılabilir.

Tüm bunlarla birlikte, HTEA çok etkin bir araç olmasına karşın bazı eksik yönleri de yok değildir. Özellikle, risk faktörlerinin ağırlıklandırılmasında ve risk önceliğinin belirlenmesinde bu eksiklikler göze çarpmaktadır.

Huang vd., (1999) belirttiğine göre, son yıllarda HTEA, internet üzerinden erişilebilecek şekilde bilgisayar ortamına taşınmıştır. Bu mimari, dünyanın herhangi bir bölgesindeki bir şubenin, yine dünyanın herhangi bir başka noktasındaki merkezde bulunan FMEA sunucusuna bağlanması ve bilgilerini girmesini sağlar. Sunucudaki HTEA program kodları bu verileri alarak analizi gerçekleştirir ve çıktıları geri yollar. Girilen veriler ve bu veriler ile yapılan HTEA'nın çıktıları aynı zamanda sunucuda depolanır.

HTEA ile ilgili ayrıntılı bilgiler 4. Bölümde verilmiştir.

2.6.3 İstatistiksel Proses (Süreç) Kontrolü (İPK)

Linderman vd.. (2004), organizasyonel performansın vazgeçilmez elemanlarından birinin de süreç yönetimi olduğunu ve bu anlayışın her geçen gün daha fazla firma yöneticisi tarafından kabul edildiğini ifade etmişlerdir.

İstatistiksel kontrolün en genel tanımı "üretim süresi içinde, ürün veya süreçten alınan ölçümleri baz alan bir kontrol sistemine göre, süreç ayarlarını değiştirerek ürün kalitesinin denetim altında tutulmasıdır" şeklinde yapılabilir. Buna ilave olarak üretim sırasında alınan verilerin analizi ile üretim ekipmanlarının ve süreçlerinin de yeterlilik hesapları süreç kontrolü kapsamı içine girer (Eryürek,2003). Üretimde kaliteyi değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş olmasına rağmen, İPK teknikleri diğer sık kullanılan süreçlere de uygulanabilir. (Self ve Enzenauer, 2004)

Bu tanımlardan İPK'nın, bir süreçten çıkan hatalı ürünleri tespit eden bir araç değil, hata önleyici bir prosedür olduğu görülmektedir. Amerikalı kalite öncülerinden Deming'in uygulamaya soktuğu bu yöntem, 1980 öncesi dönemde Japonya için çok önemli bir silah

olmuştur. Ardından gelen Toplam Kalite anlayışı ise temellerini Deming'in attığı kalite hareketin en büyük adımlarından biri olmuştur.

İstatistiksel Proses Kontrolü uygulamalarında temel iki yaklaşımdan bahsedilebilir.

2.6.3.1 Sürecin Gerçek Zamanlı Kontrolüne Yönelik Kontrol Tabloları

İstatistiksel bakış açısının en önemli unsuru kontrol tabloları veya çizelgeleridir (control charts). Kontrol tabloları, ürünün, ürünü oluşturan parçaların veya diğer bileşenlerin tanımlı özelliklerini geçmiş deneyimlere dayanarak saptanan limitlere göre kronolojik olarak karşılaştırma amacıyla kullanılırlar (Feigenbaum, 1991).

Kontrol tablolarının da en basit şekli takip çizelgeleridir.

Takip çizelgelerinde 3 ana çizgi veya sınır mevcuttur. İlki hedef, 2. ve 3. ise alt ve üst limit değerlerdir.

Örneğin takip edeceğimiz süreç bir tezgahın dükkanını açması olsun. Dükkan sahibi tarafından belirlenen açılış saatinin 9:00, sapma değerinin 15 dakika olduğunu ve dükkan sahibinin dükkanının belirtilen saatten ne erken ne de geç açılmasını istediğini varsayalım. Bu durumda oluşturacağımızı takip çizelgesinin düşeyinde hedef değer olarak 9:00, üst limit olarak 9:15 ve alt limit olarak 8:45 değerleri bulunacaktır. Zaman içerisinde yapılan gözlemler çizelgede yatay olarak hareket edilerek işaretlenir. Bir süre sonra bu çizelgedeki değerlere bakılarak süreç hakkında bir fikir edinilebilir. Alt ve üst limitlerin dışında kalan noktalar da uyuyakalma, trafik sıkışıklığı gibi beklenmedik durumları göstermektedir.

Üretim süreçlerindeki operasyonlar sonrasında üründen beklenen teknik toleranslar dokümanite edilmiştir. Dolayısıyla limit değerler, belirli olan bu tolerans değerleri olarak alınabilir. Bu en basit fakat pratikte pek uygulanmayan bir yaklaşımdır. Uygulamalarda genellikle belirli bir süre izlenen süreçlerin dağılımından hareketle belirli bir güvenilirlik değerine karşılık gelen kontrol sınırları belirlenir veya daha basit düşünülerek tanımlı limit değerlerin belirli oranında kontrol değerleri tespit edilir (Eryürek, 2003).

Bu çalışmanın ardından sitemin, toleransları daraltmaya yada kontrol edilebilir kalitesizlik etmenlerini fark ederek yok etmeye çalışacağı açıktır. Dolayısıyla sistem bir iyileştirme sürecine dönüşecek ve tekrarlı olarak uygulanan süreç, sürekli iyileştirmenin önemli bir aracı olacaktır.

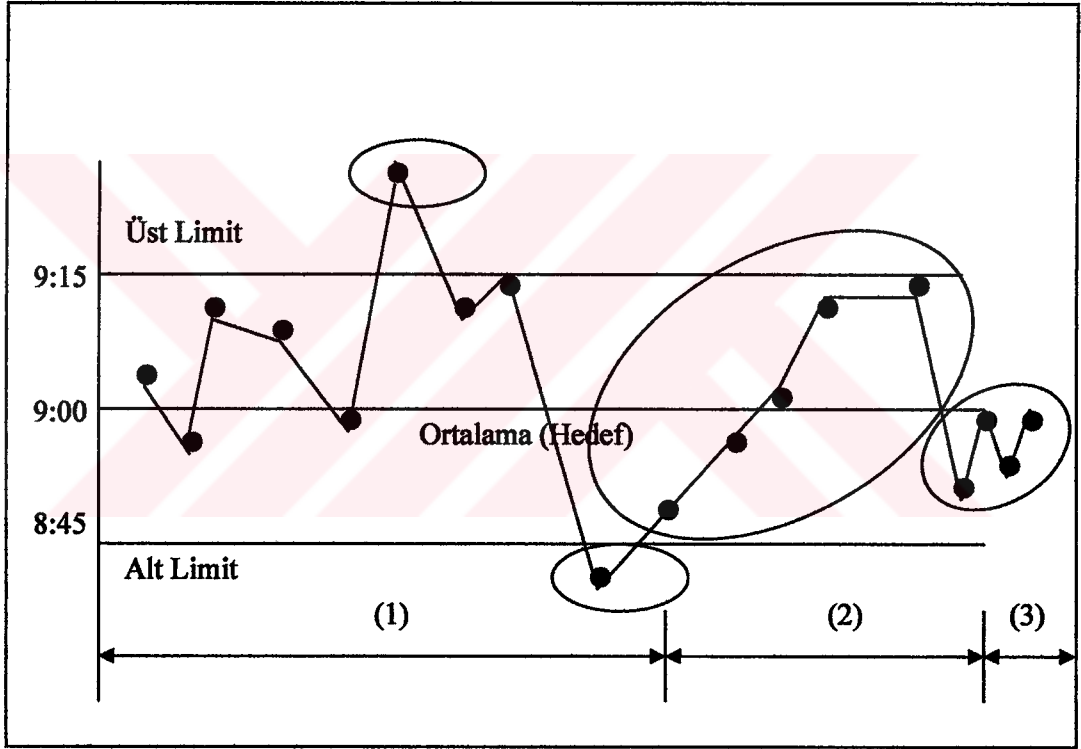
Çizelgelerin doldurulması sırasında doğal olarak belirli bir örnekleme planına uygun olarak alınan örnekler üzerinde yapılan ölçmelerin sonuçları kullanılır. Standart kontrol tabloları

gözlemlerin normal dağılım gösterdiği kabulüne dayanır (Albers ve diğ., 2004). Uygulamada genellikle belirli frekanslarda alınan alt grup ortalamaları kullanılır. Alt grup büyüklüğü çoğunlukla 5 olarak alınır. Bu durumda örnekler saat başı 5 adet veya 100 parçada bir 5 adet gibidir. Ölçme sonuçlarının çizelge üzerindeki konumları faaliyeti yapan kişiyi yönlendirerek potansiyel hataları önleyici girişimlerde bulunulmasını sağlar.

Uygulamada uygulama yapanı uyaran 3 temel durum söz konusudur (Şekil 2.2).

- 1) Kontrol sınırları dışında kalan nokta veya noktalar
- 2) Birbirini takip eden en az 7 noktanın artan veya azalan değer izlemesi
- 3) Birbirini takip eden en az 7 noktanın ortalamanın üstünde veya altında toplanması

Böyle bir durum fark edildiği takdirde operasyona müdahale edilerek düzeltme yapılır.



Şekil 2.3 Takip çizelgesi

Yukarıdaki çizelgede düşey eksen beşli grupların ortalaması olan ölçüm sonuçları, yatay eksen ise sürecin devamı sırasındaki zamandır.

Görüldüğü gibi takip çizelgeleri operasyonların sürekli olarak izlenmesi ve gereken durumlarda önlem alınması için en temel araçlardan biridir.

2.6.3.2 Proses ve Tezgah Yeterlilik Analizleri

Proses / makine yeterliliklerinin belirlenmesi, proses veya makineden çıkan ürüne ait veri grubu üzerinden yapılır. Makine Yeterliliği C_m ile; Proses Yeterliliği C_p ile gösterilir. Yeterlilik (C_m veya C_p), iki parametrenin : "İstenen" ile "yapılabilenin" oranıdır.

İSTENEN : Spesifikasyon aralığı (tolerans aralığı) = T_s , Müşterinin / tasarım departmanının belirlediği geçerlilik aralığıdır.

YAPILAN : Doğal tolerans (Natural Tolerance) = T_{NAT} , Ölçülerin gösterdiği yayılımdır. Pratikte, 6σ (standart sapma) olarak hesaplanır.

$$YETENEK = \frac{İSTENEN}{YAPILAN} = \frac{T_s}{T_{NAT}} \quad (2.2)$$

Eğer Makina Yeterliliği hesaplanıyorsa,

$$C_m = \left[\frac{T_s}{T_{NAT}} \right]_m \quad (2.3)$$

Eğer Proses Yeterliliği hesaplanıyorsa (ayrıt etmek amacıyla);

$$C_p = \left[\frac{T_s}{T_{NAT}} \right]_p \quad (2.4)$$

bağıntıları kullanılır.

$$T_{NAT} = 6 \times (\text{STANDANT SAPMA}) = (6) (S) \quad (2.5)$$

olarak ifade edilmiştir. Ancak bazı kaynaklarda, veri grubundaki eleman sayısına bağlı olarak Standard sapma, S, bir katsayı ile düzeltilmiş olarak ifade edilir (Eryürek,2003).

Makina ve Proses Yeterlilik hesabında dikkate alınması gereken diğer noktalar aşağıda belirtilmiştir (Eryürek,2003):

- Makine ayarları dikkatle ve tam yapılmalıdır
- Makine/proses temiz ve bakımlı durumda olmalıdır
- Kullanılan hammadde / malzemenin teknik spesifikasyonlara uygunluğu teyit edilmelidir
- insan faktöründen kaynaklanabilecek değişkenlik, asgariye indirilmelidir
- Çevreden gelebilecek etkiler asgariyle indirilmelidir. (Gürültü, aşırı rutubet, titreşim, ışık yetersizliği vb.)

Kısacası, çalışma şartları kapsamındaki tüm detayın, ideal konumda olmasına özen gösterilmelidir.

Makine Yeterlilik Analizinde veriler, makineden çıkış sırasında ardışık parçalar üzerinden alınır.

Proses Yeterlilik Analizinde veriler, değişkenliklerin ortaya çıkmasına imkan verecek sıklıkta periyodik olarak, ardışık parçalar üzerinden alınmış olmalıdır (örnek; 30 dakikada bir birbirini izleyen 5 parçanın boyu gibi).

Makine Yeterlilik Analizi için 30-50 (tercihen 50), Proses Yeterlilik Analizi için de 50-200 (tercihen 200) adet veri toplamak gerekir. Bazı kaynaklara göre, eleman sayısı 40'ın altında olan bir veri grubu kullanılarak yapılan değerlendirmenin geçerliliği çok kuşkuludur.

Veri grubunun sadece "kalabalık" olması yeterli değildir. Dağılımın normal olup olmadığı, (histogram üzerinde veya tercihen istatistiksel bir test kullanılarak) mutlaka sınanmalıdır.

Dağılımın Normal (Gauss) formuna uymama nedenleri ise şunlar olabilir :

- Toplanan veri sayısı yetersizdir.
- Gauss dağılımını etkileyen "özel nedenler" mevcuttur (Bunların teşhis ve bertaraf edilmesi gerekir)
- Gauss dağılımına uyumsuz bir özellik ölçülmektedir (geometrik hata, yüzey pürüzlülüğü, vb.).
- Kendini otomatik olarak ayarlayan bir makine / proses çıktıları ölçülmektedir.

İlk iki maddenin çözümü ve önlemleri bellidir. Üçüncü veya dördüncü madde ile tarif edilen durumlarda özel çözüm teknikleri geliştirmek / araştırmak gerekir.

Yukarıdaki maddelere dikkat edilmeden yapılan bir Makine / Proses Yeterlilik Çalışması, yarardan çok yanığı getirebilir. Bilhassa özel nedenlerin ayıklanmış olması hususu çok önemlidir.

Proses / makine performansının belirlenmesi - aynen yetenek tespitinde olduğu gibi-proses veya makineden çıkan ürünün, incelenmesi uygun bulunan bir ölçü çıktısına ait veri grubu üzerinde yapılır. Makinenin performansı C_{mk} ile, prosesin performansı ise C_{pk} ile gösterilir.

Performans, belirli bir yeterlilikteki makine veya prosese ait dağılımın doğal tolerans aralığını ne kadar merkezlediğinin bir ölçüsüdür. Performans şu şekilde hesaplanır (Eryürek, 2003):

ÜTS: Üst tolerans sınırı,

ATS: Alt tolerans sınırı olmak üzere;

$$C_{mk} \text{ veya } C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{(\text{ÜTS}) - X_{ort}}{T_{NAT} / 2}, \frac{X_{ort} - (\text{ATS})}{T_{NAT} / 2} \right\} \quad (2.6)$$

Sayısal olarak ifade edecek olursak, C_{mk} ve C_{pk} değerinin 1.33'den küçük olması istenmez. Bu durumda sistemde kalite iyileştirme çalışmaları yapılması gerekir. Zira Ford'da bu oranın en küçük değeri 1.67 ve Motorola'da ise 2.00 olarak kabul edilmektedir. (Stamatis,1995)

Performans, belirli bir yeterlilikteki makine veya prosese ait dağılımın, tolerans aralığını ne kadar merkezlediğinin bir ölçüsüdür.

Örnek olarak tolerans, malın 9-11 ölçüleri arasında olabileceğini söylüyorsa, proses ortalamasının 10 olması istenir ki, proses yayılımının tolerans dışında kalabilme olasılığı, asgariye indirgenebilsin.

Hesaplamalar sonucunda bulunan değerlerin genellikle C_p veya C_m den küçük olduğu görülecektir. Bu durumda prosesin, C_p ve C_{pk} arasındaki fark oranında merkezden kaymış (ayarsız) olduğunu gösterir.

C_{pk} (-) değerler de olabilir ve bu durum bu proses çıktılarının tolerans bölgesinin dışına kaydığını ifade eder (Eryürek, 2003)

2.6.4 Altı Sigma

Altı Sigma, temelinde sürekli gelişmeyi hedefleyen bir problem çözme tekniğidir. İşletmelerde Altı Sigma uygulamaları yardımıyla her alanda yapılacak iyileştirmeler ile, hataların azaltılması, ürün üzerinde katma değeri olmayan maliyetlerin azaltılması ve bunlara bağlı olarak topyekün rekabet yeteneğinin artırılması hedeflenir (Halder, 1997). Söz konusu yaklaşımın uygulanması diğer tekniklere kıyasla daha fazla yönetim sahiplenmesi ve desteği gerektirir, aslında Altı Sigma işletmelerde genel bir yönetim yaklaşımı olarak ele alınıp, yapılan tüm faaliyetlerin bu teknik altında gerçekleştirilmesi hedeflenmelidir. Altı Sigma yaklaşımı ABD kaynaklı bir kalite yaklaşımı olup günümüzde Amerika dışında da oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Uygulamaya ilk başlayan şirketler GE ve Motorola olup daha sonra ABB gibi Avrupa'lı gruplar ve LG gibi uzakdoğu merkezli gruplar da yaklaşımı tüm birimlerinde yoğun olarak kullanmaya başlamışlardır. Ülkemizde ise 1997 yılından bu yana Arçelik işletmelerinde uygulanmaktadır. (Eryürek, 2003)

Altı Sigma yaklaşımının uygulamasında aşağıdaki adımlar sırasıyla gerçekleştirilir:

- Ölçme

- Analiz
- İyileştirme
- Kontrol

İşletmelerde Altı Sigma uygulamaları başlatılmadan önce çalışmalarını koordine edecek ve uygulama sırasında destekleyecek "Karakuşak" ve "Yeşilkuşak"lar eğitilir. Karakuşaklar, Altı Sigma Gruplarının liderliğini yapacak ve tüm grubu belirli bir görev dağılımı ile yönetecek elemanlardır. Yeşilkuşaklar ise daha çok teknisyen seviyesinde veri toplama ve değerlendirmeye yönelik çalışacak grup üyeleridir.

Çalışmanın ilk adımında üzerinde çalışılacak konunun performans ölçütleri belirlenir ve mevcut durum bu ölçütler çerçevesinde tanımlanır. Mevcut durumun belirlenmesi sırasında önce ölçme sistemlerinin performansının doğru yargıya varılabilecek seviyede olup olmadığı test edilir.

İkinci adımda, üzerinde çalışma yapılan faaliyetin Proses Analizi yapılır. Çalışmanın bu kısmının amacı, prosesin detaylı olarak incelenmesi ve herhangi bir uygunsuzluk olup olmadığının ortaya konulmasıdır. Bu kapsamda proses adımlarının sırası, adımların her birinin yeterlilik incelemesi ve performans değerlendirmesi yapılır.

Üçüncü adım çalışmanın en önemli kısmı olup, asıl iyileştirmenin yapıldığı noktadır. Yapılan gözlemler, çözüme yönelik yaklaşımlarda genellikle ilgili parametrelerin sadece birinin değiştirilip (iyileştirilip) çözüm beklendiği yönündedir. Oysa, çoğu problemde ilgili sürecin birden fazla parametresinin birbirleriyle ilişkide olduğu görülür. Dolayısıyla, parametrelerin eş zamanlı değişiminin çözümü, pozitif veya negatif yönde beklenenden farklı olarak etkilediği saptanmıştır (Halder, 1997). Bu durumun anlaşılması iyileştirme çalışmalarında birden fazla parametrenin eşzamanlı olarak değiştirildiği Deney Tasarımı yönteminin uygulanmasını tetiklemiştir. Altı Sigma uygulamalarının özünde de Deney Tasarımı yatar. Deney tasarımında ilgili sürecin sonucu etkileyecek parametre sayısına göre yapılacak deneyin şekli ortaya çıkar. Burada hedef mümkün olan en az deney ile belirli bir güvenilirlik seviyesinde kabul edilebilir doğrulukta bir sonuç elde etmektir.

Uygulanabilecek deney türleri aşağıda verilmiştir:

- Tek faktöryel deneyler
- Tam faktöryel deneyler
- İkili faktöryel deneyler

- Kesirli faktöryel deneyler
- Gözleme dayalı deneyler

Deneylerin tamamlanmasını takiben çıkan sonuçlar istatistiksel olarak test edilerek güvenilirliği sorgulanır. Bu kapsamada yapılan faaliyet deneysel olarak bulunan sonuçlara göre prosesin ayarlanması ve belirli bir miktar çıktının deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasıdır.

Test sonucunda kabul edilebilir değerler elde edildiği takdirde yeni parametreler standardize edilerek çalışma tamamlanır.

Günümüzde, işletmeler hızla artan bir ilgi ile Altı Sigma Yaklaşımını genel yönetim yaklaşımlarına monte etmektedirler. Problemlerin çözümleri ve iyileştirmelerde tamamen deneysel çözümler aranmaktadır. Bunun ötesinde, tüm aşamalar uygulanmasa bile tüm süreçler için süreç analizleri ve ölçme sistemleri için ölçüm yeterlilikleri hesaplanmaktadır.

Diğer yandan burada ayrı ayrı başlıklar altında anlatılan KFA ve HTEA teknikleri de kombine bir şekilde bir Altı Sigma projesinde kullanılabilir (Pyzdek,2003).

2.6.5 Toplam Üretken (Verimli) Bakım

Toplam Kalite Yönetimi ve Tam Zamanında Üretim tekniklerinin kullanımıyla, optimal koruyucu bakım ihtiyacı, "Toplam Üretken Bakım (TÜB)" sisteminin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Eti vd., 2004). Bu yaklaşım ile, makinelerin bakım ve geliştirilmesinde, onları kullanan kişiler söz sahibi edilmektedir. Amaç "benim makinem" kavramını yerleştirmek, dış bakım ihtiyacını en aza indirirken, kaliteyi üretim sırasında güvence altına almaktır.

Üretim prosesleri sırasında, ekipman üzerindeki küçük değişkenlikler nedeniyle Proses Yeterlilikleri azalmaktadır. Bu değişkenlikler incelendiklerinde genellikle ekipmanı kullanan operatör veya operatörler tarafından yapılacak basit kontroller ve alınacak basit önlemler ile yeterliliklerin uzun dönemler için korunabileceği görülür.

Önleyici Bakım (Predictive Maintenance) ve Koruyucu Bakım (Preventive Maintenance), Toplam Üretken Bakımın (TÜB) bileşenleridir. TÜB için makine operatörleri, makinenin yeteneğini ve güvenilirliğini değerlendirmenin yanı sıra, fiilen müdahale yoluyla da geliştirilebilecek düzeyde olmalıdır.

Bu amaçla işletmelerde TÜB uygulanma kararı verildikten sonra mutlaka operatör eğitimine yatırım yapılır. Eğitim ve sertifikasyon sistemi ile gerekli profesyonel bilgi verilirken, motivasyon düzeyi de yükseltilmiş olur.

Daha sonra ise her üretim ekipmanı için hangi seviyedeki çalışmanın kim tarafından yapılacağı belirlenir. Bu çalışma sırasında operatörler tarafından yapılacak kontrol ve bakımlar ile bakım ekibi tarafından yapılacak işlemler ve periyotları tanımlanır.

Linderman vd.. (2004)'e göre, süreç yönetimin iki aracı olan İPK ve bakım yönetimi iyi koordine edildiğinde, olağan üstü ekonomik faydalar üretebilmektedirler.



3. HATA KAVRAMI ve HATALARIN SINIFLANDIRILMASI

Hata Türleri ve Etkileri Analizi konusunu incelemenden önce, hatanın ne olduğu, nelerin hata olarak değerlendirilebileceği, üretimde ne çeşit hatalarla karşı karşıya kalınabileceğine ayrıntılı şekilde değinilecektir.

3.1 Hata ve Hasar Kavramı

Hata, arzu edilen değerden sapma veya bir birimin sahip olması gereken özelliklerden sapma olarak tanımlanabilir. Bir sistemde, bir ürün için hatalı kavramı, istenen işlevlerini yerine getirememesi durumudur. Bu durumda genelleştirilmiş hali ile hata "tanımlanan işlevlerini yerine getirme kabiliyetlerindeki kayıp" olarak tanımlanabilir. Ayrıca hata yanlışlık, kaza gibi örgüt faaliyetlerinin verimliliğini, güvenilirliğini ve etkinliğini yönlendiren hareket ve davranışlardır. Hata, belirlenen prosedür ve standartlara %100 uyum sağlamamasından dolayı ortaya çıkan bir durumdur (TSE İPK Eğitimi, 2001).

Hataların ortaya çıkma sıklığı ürünün güvenilirliği üzerine direkt etki eder. Yüksek oran güvensizliktir. Sıklık frekans olduğu için istatistiksel olarak ele alınır (Feigenbaum,1991)

Hatanın diğer bazı tanımları ise şunlardır:

- Bir ürün için belirlenmiş özelliklerin ilgili şartname, standart veya resimlerde belirlenen kurallardan herhangi birine ölçü veya özellik yönünden uymamasıdır.
- Hata, ilgili parametrelerde sınırları önceden belirlenen işlevini yapma veya yapmama yetersizliği olarak tanımlanabilir.
- Ürünün, istenen işlevini yerine getirmek için işlevsel kabiliyetlerinin ortadan kalkması.

Boran 1996 tarafından bildirildiğine göre IEEE STD 729'da ISO'nun yapmış olduğu hata tanımları şöyledir:

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

Hata ile ilgili yapılan çalışmalar, yaklaşımlar açısından, niceliksel ve nedensel yaklaşım olarak iki grupta toplanır.

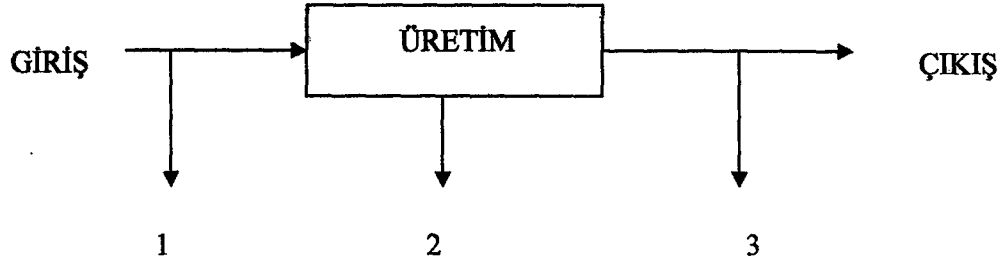
Hataların nicelik yönünden incelendiği niceliksel yaklaşımda güvenilirlik analizi çalışmaları söz konusudur. Hataların niceliksel gösterimi, hatanın daha iyi anlaşılmasını sağlar. Bu, istenen durumdan sapma miktarının sayı ile gösterilmesi veya hatanın olasılık düzeyinde tanımlanmasıyla yapılabilir (Boran,1996).

Hasar ise, bir ürünün yada bileşenin kendisinden beklenen işlevi yerine getiremez hale gelmesidir. Yukarıda genel ifadesi verilen hata kavramı, bu tanımla hasar kavramının yerini tutabiliyorsa da, aslında tam olarak karşılamaz. Hata (failure) daha çok bir faaliyetin belirlenen şekilde yapılamaması ve bundan dolayı istenen sonuçların alınmaması anlamını içerirken, hasar (defect); bir "hata"dan kaynaklanan eksiklik, bozukluk, işlev yitimi anlamlarını içerir. Bu çalışmada hata ve hasar kavramları yukarıda anlatılan anlamları ile kullanılmıştır.

3.2 Hataların Sınıflandırılması

Hatalı bir parça, tanım olarak monte edilmiş olan bir parçayı başarısız kılacak parçadır. Eğer başlangıçta hatalı olarak ilan edilmiş bir parça hattın ileri aşamalarında yada müşteride sorun oluşturmazsa, hatalı bir parça ile ne kastedildiği tanımlanmamış demektir. Böyle bir durumda atılacak adım, parçaları hatalı yada hatasız olarak ayıracak test yöntemini kontrol etmek olmalıdır. Bazen, gelen bir parçadaki hatayı işletmede keşfetmenin daha pahalı olacağı ve hatayı keşfetmenin belki de aylar yada yıllar sonra olmak üzere müşteriye bırakıldığı durumlar olur. Bunlara "gizli hatalar" denir. Ender rastlanan hataları bulmak ise oldukça zordur. Hata oranı düştükçe hataları bulmak zorlaşır. İster gözle, ister makine ile kontrol ederek tüm hataları tespit etme olanağı yoktur. Son yıllarda, hata konusunda yapılan çalışmaların daha çok "sıfır hata" seviyesine ulaşmak için, niçin hatalı olduğunu anlamak üzerine yoğunlaştığı görülmektedir.

Hata çeşitlerini belirlemek, uzun ve yorucu bir çalışmanın yanı sıra, üretilmesi düşünülen ürünün tüm parçalarının fonksiyonlarını, makinelerin özelliklerini, ölçme değerlendirme çalışmaları ile kabiliyetlerinin ve en önemlisi sistemin nasıl çalıştığının bilinmesini gerektirir. İşletmede ara sıra olan hatalar olduğu gibi, kronik hatalar da vardır. Kronik hataların nedenlerinin iyi araştırılması gerekmektedir. Bununla birlikte üretim içi hataları şu şekilde sınıflandırmak mümkündür :



Şekil 3.1 Üretim İçi Hataların Sınıflandırılması (Boran,1995)

Şekil 2.1 deki rakamlar aşağıdaki anlamlara gelmektedir:

- 1) Üretim Öncesi Hatalar
- 2) Üretim Aşamasındaki Hatalar
- 3) Üretim Sonrası Hatalar

Son yıllarda, hata konusunda yapılan çalışmaların daha çok "Sıfır-Hata" seviyesine ulaşmak için niçin hatalı olduğunu anlamak üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak sistem analizcileri (analistleri), mühendisler, tasarımcılar ve yöneticilerin kullanabilecekleri ürün veya sistemler için bir standart hata sınırlandırmasının gerçekleştirilmesi amacıyla yapılmış bir çalışma yoktur. Kaynaklarda farklı şekillerde çeşitlendirilen hatalar genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir:

- 1) Oluşum Aşamalarına Göre Hatalar,
 - Tasarım Hataları,
 - Üretim Hataları,
 - Kullanıcıdan Kaynaklanan Hatalar
- 2) Niteliklerine Göre Hatalar,
 - Büyük Hata
 - Kritik Hata
 - Küçük Hata
 - Önemsiz Hata
- 3) Oluşum Zamanına Göre Hatalar,
 - Ani Hatalar

- Kademeli Hatalar
- 4) Nedenlerine Göre Hatalar
- Malzeme Hataları
 - Makine ve Alet Hataları
 - Ölçme Hataları
 - Muayeneciden Kaynaklanan Hatalar
 - Muayenede Örnekleme Hataları
- 5) Organizasyonda Yapılan Hatalar
- İnsan Hataları
 - Yönetim Hataları

3.2.1 Oluşum Aşamalarına Göre Hatalar

Meydana geldiği aşamaya göre hatalar Tasarım Hataları, Üretim Hataları, Kullanımla İlgili Hatalar olmak üzere üçe ayrılır.

3.2.1.1 Tasarım Hataları

Bir ürünün ortaya çıkışı, tasarımcıların müşterilerden gelen istek ve ihtiyaçları göz önünde bulundurmaları dahilindedir. Yani tasarımcılar, müşterilerin istek ve ihtiyaçlarını düşünerek tasarımlarını yaparlar. Böylece yeni bir pazar oluşur. Fakat pazara yeni üreticilerin katılması ile bu avantaj azalır. Tasarımcı, müşterilerin istek, ihtiyaç ve beklentilerini çok iyi incelemeli ve sonra bunları ürüne sistematik olarak aksettirmelidir. Bununla beraber müşteriyi memnun etmek için ürünler doğru zaman ve doğru yerde, gerçek fonksiyon ve özellikleri içerecek şekilde müşteriye ulaştırılmalıdır. Böylece müşteriler, ürünü ne kadar uzun süreli kullanırlar ise, o kadar memnun olacaklardır (Boran, 1996).

Bir ürünün geliştirme sürecinin hepsi birbirini izleyen dört kademedir oluşmaktadır:

- Ürün tasarımı
- Proses tasarımı
- Üretim
- Servis

Bu aşamalar, birinin çıktısı diğerinin girdisi olan birçok aşamadan oluşmaktadır. Bu nedenle kalite ve maliyetin oluşumunda bu aşamaların ayrı ayrı etkisi vardır. Modern teknoloji ürünlerinin artan karmaşıklığı, ürün ve proses tasarımının önemini daha da arttırmıştır. Bununla beraber günümüzde otomotiv, endüstriyel robotlar, optik cihazlar ve takım tezgahları gibi ileri teknoloji ürünlerin üretiminden kendi çapında söz sahibi işletmelerin mühendislik tasarımlarında bu ayrıcalık görülebilir. Ayrıca ürünün kullanımı sırasında çevresel etkiler, insan faktörü, bozulmalar ve üretim hataları da ürünün kullanım performansı üzerinde etkili olabilmektedir.

Ürün tasarımının önemi bu alanda daha da belirginleşmekte ve ürünün performansında çevresel koşullardaki değişiklikler nedeni ile meydana gelebilecek sapmalar karşısında gerekli önlemleri ancak ürünün maliyetleri ve üretim hataları, üretim prosesinin tasarımı ile belirlenir. Bir proses tasarımı verildiğinde, artan proses kontrolleri üretim hatalarını azaltabilir. Fakat proses kontrolleri oldukça maliyetlidir.

Proses tasarım gelişimi, devamlı olarak problemlerdeki değişimlerin azaltılmasını kapsamaktadır. Proses değiştiğinde, problem için çözüm bulmak zorlaşacaktır. Geliştirilmiş proses tasarımı, hem üretim hatalarını hem de proses kontrol ihtiyacını azaltır. Böylece daha proses aşamasında çeşitli önlemler alınır ve hatalara sebebiyet verecek etkenler üzerinde çalışmalar yapılır. İşletmelerde tasarım hataları, tasarım amaçlarının karşılanmadığı zamanlarda ortaya çıkar. Müşteri isteklerinin tam olarak karşılanmaması durumunda ortaya çıkan tasarım hataları olduğu gibi, çevresel etkinliklerden dolayı direkt etkisi olmayan tasarım hataları da üründe görülebilir.

3.2.1.2 Üretim Hataları

Çoğu işletmede üretim hataları başlıca iki sebepten kaynaklanmaktadır. Birinci sebep, üretim sürecindeki uyumsuzluk ve yapılan hatalar, ikincisi ise planlama aşamasında yapılan hatalardır. Üretim sürecinde yapılan hatalar bir proje yaklaşımı ile ele alınarak, yapılacak iyileştirme çalışmalarının çıkış noktasını oluştururlar.

Çoğu kez üretim sürecinde yapılan hataların kaynağını planlama hataları oluştururlar. Böylece ortaya çıkan kayıplar ise, ürünün sürece ilişkin tasarımları gözden geçirilerek, bunların üretimde daha az hatanın oluşmasını sağlayacak şekilde iyileştirilmesi ile önenebilir.

Bir işletmenin kalite yönetimi sürecinde karşılaşılmış, kontrol ve iyileştirme işlemleri ile ortadan kaldırılmış olan hatalar incelenmeli ve belgelenmelidir. Bu tecrübelerden yararlanılan bir yaklaşımda, kalite planlaması için daha geniş bir veri tabanı sağlanmış olur.

Belgelendirmenin (dokümantasyon) önemi de bu veri tabanının oluşmasında görülebilmektedir. Hataları önleme süreci kurumsal bir yaklaşımla desteklenmelidir. Toplamda ise amaç, hatasız üretim (ilk seferde doğru yapma) olmalıdır.

3.2.1.3 Kullanıcıdan Kaynaklanan Hatalar

Normal çalışma Ömrü esnasında aşırı işlemsel zorlama veya bakımla ilgili sorunlardan kaynaklanan" hatalardır. Ürün kullanımının yanlış yapılması ve satış sonrası hizmette bakım hataları dolayısıyla gerçekleşmektedir.

3.2.2 Niteliklerine Göre Hataların Sınıflandırması

Sonuçlarına göre hata sınıflandırılması, hata oluştuğundan sonra etkisiyle ilgidir. Eğer hata oluştuğundan sonra düzeltimi zor ise büyük hata, kolay ise küçük hata olarak tanımlanmakta. Ayrıca eğer hatanın etkileri kullananın yada çalışanın sağlığını veya hayatını tehdit ediyorsa kritik hata, etkilemiyorsa önemsiz hata olarak tanımlanmaktadır. (MIL STD 1629A, 1984)

3.2.2.1 Kritik Hata

Kritik hata, genellikle, kullanılan, bakımını yapan veya ona bağlı bulunanlara can ve mal güvenliği açısından tehlikeli veya güvensiz durumlar getirecek hatalardır. Bu hatalar genellikle %100 muayene edilir. Kritik hatalar, can ve mal güvenliğini tehlikeye düşürür, montajı yapan ve kullanan için hayati tehlike yaratır, ana ürünün işe yaramamasına neden olabilir, düzeltilmesi mümkün olmayacak bir şekilde ürünü ortadan kaldırabilir. Çok ciddi veya tehlikeli hata olarak da tanımlanabilir. İşletmenin hurda maliyetlerinde büyük bir artış meydana gelir ve kalite güvenilirliğini büyük ölçüde sarsar. Kritik hataların zararları aşağıda sıralandığı gibidir:

- Ürün kullanılmaz
- Ekonomik kayıplar oluşur
- Psikolojik ve sosyolojik kayıplar oluşur
- Kalite güvenliği zedelenir

3.2.2.2 Büyük Hata

Kritik hatadan farklı olarak, bir hasar oluşturmayan veya düşünülen amaç için bir ürünün kullanılabilirliğini maddi olarak azaltabilen türden hatalardır. Ciddi veya önemli hata olarak da tanımlanabilir. Bu hataların düzeltilmesi zordur, onarımı güçtür ve yeni arızalar meydana

getirir, tamir ve bakım masrafları da oldukça yüksektir. Montajı güçleştirdiği için işçilik ve zaman kaybına yol açtığı gibi, montaj işçilerinin kalite kontrol elemanlarına ve sistemine güveni sarsılır. Büyük hata belirlenerek yukarıdaki özelliklere dikkat edilmesi gerekmektedir. Büyük hatalı ürün çıkmaması için, hata sebebi bulunmadan önce üretim ve satın alma işlemlerine ara verilmelidir .

3.2.2.3 Küçük Hata

Düşünülen amaç için ürünün kullanılmasını sağlayan veya işletilmesini en az derecede etkileyen hatalardır. Orta önemde olan hatalar olarak da tanımlanabilir. Küçük hatalar, ürün performansını ve ürünün ömrünü azaltabilir. Montajda zaman zaman aksaklıklar yaratır ve en önemlisi dış görünüşü istenmeyen yönde bozabilir.

3.2.2.4 Önemsiz Hata

Önemsiz hata, çalışma durumunu ve tamir-bakım masrafını etkilemeyen, etkileri hissedilmeyen hatalardır. Ciddi olmayan hata olarak da tanımlanabilir. Ancak bu hatalar, kabul edilebilecek dış görünüş bozukluklarına yol açabilir (Baraçlı,1998).

3.2.3 Oluşum Zamanına Göre Hatalar

3.2.3.1 Ani Hatalar

Ürün veya sistemin zorlanması sonucu işlevlerini aniden kaybetmesi sonucu ortaya çıkan hatalardır.

3.2.3.2 Kademeli Hatalar

Aşınma ve eskimenin etkilerinin bir araya gelmesiyle zamanla ortaya çıkan hatalardır.

3.2.4 Nedenlerine Göre Hatalar

Nedenlerine göre hataları şu şekilde sınıflandırılabiliriz: Malzeme Hataları, Makine ve Alet Hataları, Ölçme Hataları, Muayeneciden Kaynaklanan Hatalar, Muayenede Örnekleme Hataları, Organizasyonda Yapılan Hatalar, İnsan Hataları, Yönetim Hataları. Nedenlerine göre sınıflandırması yapılmış hataların tanımları aşağıda anlatılmaktadır (Şimşek, 2000).

3.2.4.1 Malzeme Hataları

Malzeme hataları şöyle sıralanabilir:

- 1) Aşırı yük hataları
- 2) Aşınma hataları

Aşırı yükten sonra, malzemenin elastik deformasyona uğraması, eğilmesi, kırılma gevrekliğinin artması, karşılıklı yüzeylerinin yapışmaması şeklinde kendini gösteren hatalara aşın yük hataları denilmektedir. Yorulma çatlama, yayılma, büzülme, korozyon şeklinde kendini gösteren hatalara aşınma hataları denilmektedir.

Malzeme hataları, malzeme içinde bulunan sistem geometrisinin; üretim, depolama, elde tutma, taşıma, muayene, kullanım ve tamir aşamaları sırasında özelliklerinin değişmesi ile olur (Boran, 1996).

Malzeme hataları aşağıdaki sebeplerden dolayı meydana gelir:

- Malzemelerin hacim, oran gibi fiziksel özelliklerinin tanımlanmaması
- Değişik marka taşıyan malzemelerin kullanılması
- Malzemenin işletme için yeterli olmaması
- Belirlenmiş olan çalışma yöntemine uyulmaması

3.2.4.2 Makine ve Alet Hataları

Makine hataları üç ana sınıfta toplanabilir:

- 1) Teknolojik değişikliklerden dolayı oluşan hatalar,
- 2) Yapısal değişikliklerden dolayı oluşan hatalar,
- 3) Uygunsuz kullanımdan dolayı oluşan hatalar.

Bir makine beklenen performansı göstermiyor ise, hatalı olarak tanımlanır. Makinenin ilk kullanılmaya başlandığı sıralarda görülen hatalar, makine operatörlerinin dikkatsizliği, ve kötü kullanımından daha çok tasarımın uygun olarak yapılmamasından kaynaklanır. Makine hatalarının ortaya çıkmasında en önemli etken makineyi bir bütün olarak oluşturan parçaların uyumsuz olmasıdır. Makine hataları genellikle yanlış kullanma, makine parçalarının malzeme yorulmasından veya eskimesinden dolayı ortaya çıkar (Baraçlı, 1998).

Teknolojik değişikliklerden dolayı oluşan hatalar, makine için seçilen teknolojik üretim sürecinin bozulması sonucu ortaya çıkar. Ayrıca makinenin hatalı olarak tasarlanmış olması da teknolojik hatalara yol açar. Bilgisayar donanımında ortaya çıkan hatalar da makine hataları kapsamına girer. Bununla birlikte bilgisayar yazılımlarında da hatalara rastlamak

mümkündür. Yazılım hataları beklenen fonksiyonları yerine getirmemek şeklinde tanımlanır ve yazılım hatalarının en önemli nedenleri insanlardır. Eğitilmemiş insan faktörü her yerde olduğu gibi burada da büyük önem taşımaktadır.

Yapısal değişikliklerden dolayı oluşan hatalar, makineyi bütün olarak oluşturan birimler arasında tutarlılık olmadığı yada ilişki ile etkileşimler iyi tanımlanmadığı zamanlarda ortaya çıkar.

Uygunsuz kullanımdan dolayı ortaya çıkan hatalar, makineler ve aletler için geliştirilmiş olan kullanım kılavuzlarına uyutmamasından kaynaklanmaktadır. Kullanım kurallarına uyulmaması makinelerin ömrünü kısaltır ve dolayısı ile tahmin edilemeyen hataların ortaya çıkmasına neden olur.

Makinelerin işletmelerde uygunsuz kullanım durumları şunlardır:

- Üretim ihtiyaçlarına uygun olmayan makinelerin kullanılması
- Proses yapabilirliği yeterli olmayan makine kullanılması
- Yerleşimi uygun olmayan makine kullanılması
- Gerekli hassasiyete sahip olmayan makine kullanılması

Üretim esnasında makinelerin yanında pek çok da alet kullanılmaktadır. Bu aletlerdeki bir hata da üretim kalitesini etkileyecek, dolayısı ile hatalı ürünlerin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Alet hataları, yanlış tasarım veya aşınma sonucunda, yapısal veya geometrik özelliklerinin birlikte kullanılacağı makineye uymaması ile ortaya çıkar.

3.2.4.3 Ölçme Hataları

Ölçme hataları;

- Ölçme aletlerinin yapısından, arızalı veya ayarsız olmasından
- Ölçmeyi yapan kişiden kaynaklanabilir

Ölçme aletlerinin yapısındaki bozukluklardan dolayı meydana gelen hataların farkına varmak güçtür. Uygulayıcının alabileceği tek önlem, aletin daha duyarlı ve güvenilir aletlerle kıyaslanmasını yada kontrolünü yapmaktır. Arıza yada ayarsızlıktan doğan hatalar için, aletin periyodik olarak yapılacak bakımını ihmal etmemek ve belirli zaman aralıklarında kalibrasyonlarını yapmak gerekir.

Ölçmeyi yapan kişilerden kaynaklanan hataların imalatta belirlenmesi ve giderilmesi, en güç sorunlardan biridir. Kişiler arasında yetenek, tecrübe, dikkat ve dokunma, görme, işitme gibi

duyu organlarını kullanma becerisi farklılıkları vardır. Bu farkların önceden tahmin edilmesi ve önemszenmemesi, ölçme hatalarına yol açar. Bazen çevre ile ilişkiler, moral, iş yoğunluğu, yorgunluk ve hatta çalışma gün ve saatleri kişiden doğan hataların artmasına neden olabilir. Bu tür hataların hiç olmazsa bir ölçüde azaltılması için başvurulabilecek en iyi çare eğitim, standart ölçme talimatına uyulması ve iş yükü kontrolü olanaklarından yararlanmaktır (Kobu, 1981).

Mekanik ölçme aletlerinde iş parçası ile bastırma veya sıkıştırma şeklinde fiziksel temasta bulunmak zorunludur. Malzemenin yumuşak olması yada temas sırasında gereğinden fazla kuvvet kullanılması da ölçme hatalarına neden olabilmektedir. Mikrometrede olduğu gibi bazı ölçme aletlerinde sabit kuvvetle sıkıştırmayı sağlayacak yaylı mekanizmalar kullanılabilir. Eğer bu tür bir Önlem mevcut değil ise, ölçmeyi yapan kişinin tecrübe ve dikkati ile hatayı engellemesi beklenir.

Cisimleri ısı etkisi ile genleşebildiklerinden, ölçme esnasındaki çevre, iş parçası ya da aletin sıcaklık derecesi, hatalara neden olabilir. Örneğin, talaşlı imalatta, kesme kalemi ile iş parçası arasındaki sürtünme nedeni ile meydana gelen ısı genleşmeye ve bu da parçanın herhangi bir boyutunun olduğundan büyük işlenmesine neden olur.

Modem imalat teknolojisinde, kalite kontrolü İlgilendiren ölçme kriterleri dört ana grupta toplanmaktadır:

- Boyut
- Şekil
- Konum
- Montaj ve çalıştırma koşulları

Geometrik şekil ve konum kriterlerine göre yapılan Ölçmelerde duyarlılık derecesinin sağlanması daha da güçtür. Ölçme hataları ölçülebilir olma durumlarına göre iki kısımda incelenebilir:

- Makro Hatalar: Uzunluk, açı, ağırlık gibi tek değerle ifade edilebilen ölçülerden doğan hatalardır
- Mikro Hatalar: Yüzey düzgünlüğü gibi teorik şekil veya ölçülerden sapmaların bir çeşit ortalaması ile ifade edilebilen hatalardır.

Araştırmacıların birçoğu ölçme hatalarını azaltmak amacı ile çalışmaktadır. Eğer hata kaynakları göz ardı edilir ise, toplam hata miktarında artış meydana gelecektir. Buna göre yedi çeşit yaygın ölçme hatası gözlenebilmektedir:

- 1) Araştırmaların güven seviyesindeki yanlışlık
- 2) Müşteri isteklerini temel ölçüm olarak kabul etmek
- 3) Araştırmaları proses olarak değil de, olay olarak göz önüne almak
- 4) Spesifik olmayan sorunları sorgulamak
- 5) Yanlış veya eksik olan veri analizi metotlarını kullanmak
- 6) Elde edilen sonuçları göz ardı etmek
- 7) Değerleri yanlış kullanmak

3.2.4.4 Muayeneciden Kaynaklanan Hatalar

Muayene hatası, sağlam parça için bozuk, kabul edilebilir bir parti için kabul edilemez ve benzeri şekilde ters kararlar alınmasıdır. Muayenenin amacı, tasarlanan şartnamelere (spesifikasyonlara) uygunluğunun saptanması, kabul edilemez nitelikte olan parça veya partilerin ayıklanması ve düzeltici önlem alınması için ilgililerin uyarılması şeklinde tanımlanmalıdır. Bu faaliyetler yürütülürken yada faaliyetler sonunda kararlar alınırken çeşitli hatalara düşülmektedir. Bunlar:

- Örnekleme ve ölçme yöntemlerinden,
- Ölçme aletlerinden,
- Haberleşme ve kayıt sistemlerinden,
- Muayeneciden kaynaklanabilir.

Muayene faaliyetlerinin bir elemanı olarak muayenecinin de hata yapma olasılığı daima vardır. Muayenecinin yapabileceği hatalar şu şekilde sınıflandırılabilir (Kobu, 1981).

3.2.4.4.1 Bilinçli ve Kasıtlı Olarak İşlenen Hatalar

Aslında, ölçme sonuçlarını değiştirmek, kasıtlı örnek almak, raporları tahrif etmek şeklinde girifilen bu eylemler daha çok "suç" niteliğindedir. Fakat meydana çıkarıldığında muayene hatasıymış gibi gösterilmek istenecektir. Genellikle kişisel maddi çıkar sağlamak yada nadiren işletmeye zarar vermek amacı ile bilerek işlenen hatalardır.

Parça başı yada buna benzer teşvikli ücret sistemlerinin uygulandığı işletmelerde imalat işleri ile muayeneciler anlaşarak hatalı parçaların da geçer olarak incelenmesine göz yumarlar. Burada her iki tarafın da maddi çıkarları olabileceği gibi muayenecilerin, arkadaşlık duygusu, korku, çekinme gibi nedenler ile gevşek davranmaları mümkündür. Muayeneciler ile tecrübeli ve kıdemli imalat işçileri arasında, yıllardan beri gelebilecek arkadaşlık duyguları da bu tür faaliyetlere neden olabilir.

Muayeneciler başka nedenlerle de kasıtlı hata işleyebilirler. Özellikle, muayene işlemlerini kısa yoldan sonuçlandırma, %100 muayeneden kaçınma, amirlerine fazlaca sorun götüren kişi olmaktan kaçınma, reddedilen partiler ile ilgili işlemleri yapmak istememe gibi nedenler ile hata işlenmesi de sık rastlanılan bir durumdur. Kayıtlarda değişiklik yapılmadığı sürece bu tür faaliyetleri ortaya çıkarmak mümkündür.

- Muayenecilerin bilinçli hataları:
- Kabul edilemez nitelikteki bir parçanın kabulü,

Kabul edilmesi gereken bir partinin reddedilmesi sonucunu oluşturabilir

İkinci sonucun birincisi kadar zararlı olabileceği çoğu kez gözden kaçmaktadır. Araştırmalar, yöneticilerin ikinci sonuç üzerinde çok fazla durmadıklarını, bunun bilincinde olan muayenecilerin de genellikle sorun çıkmamasını garantiye almak amacı ile "ret" kararını çok daha kolay verdiğini ortaya çıkarmaktadır. Bu türden hataların işlenmesini engellemek, hiç olmazsa miktarını azaltmak amacı ile bazı önlemler alınabilir. Bunlar:

- Muayeneci olacak kişilerin seçiminde, doğruluk, sorumluluk bilinci, işletmeye bağlılık nitelikleri aranmalıdır.
- Muayene işlemlerinin kim tarafından, hangi parça üzerinde, ne zaman yapıldığının tespitinin, istenildiği zaman kolaylıkla yapılabilmesini sağlayan bir kayıt sistemi olmalıdır.
- Muayene sonuçlarının yorumu, karar verme ve onaylama işlemleri muayenecinin üstleri tarafından yapılmalıdır.
- Belirli oranlarda ikinci muayene işlemlerine yer verilmesi gerekmektedir
- Tutulan raporlar, belirlenen periyotlarda topluca gözden geçirilmeli, analiz edilmelidir.

- Son montaj aşamasında tespit edilen hatalar ve müşteri şikayetleri incelenmeli ve gözden kaçan hatalar için, muayenecilere performans değerlendirmesi uygulanmalıdır.

3.2.4.4.2 Kişisel Kusurlar Yüzünden İşlenen Hatalar

Muayenecinin kişisel kusuru nedeni ile bazen, bilinçli hatalar kadar kötü sonuçlar verebilen hatalar işlenebilmektedir. Ön yargılı olma, sayılan yuvarlama, objektiflikten sapma, ihlalcilik ve benzeri kusurlar nedeni ile işlenen hataları doğrudan suç saymak mümkün değildir. Ancak bu gibi kusurlarda bulunan kişileri seçmek, görevde tutmak, uyarmamak ve kusurları düzeltmeye çalışmamak zamanla ağır zararları olan sonuçlara neden olabilir.

Sayılan yuvarlama genellikle ölçme aletlerinde ibrenin iki çizgi arasına düşmesi halinde işlenen hatalardır. Bazen okunan değerleri, hesaplamanın kolay olmasını sağlamak amacıyla en yakın yuvarlak sayı olarak kabul etmek şeklinde ortaya çıkar. Kısaca "sapmak" olarak bilinen hata, mevcut kural ve yöntemlerin daima bir görüş doğrultusunda uygulanması şeklinde meydana gelir. Okunan değerlerin daima en büyük yada en küçük sayıya yuvarlatılması, sürekli olarak ret ve kabul eğilimi içinde bulunulması da sık rastlanan bir hata türüdür.

İhmalcilik ve dikkatsizlik, özellikle yarı mamul ambarına girişten Önce yapılan muayenelerde etkili olan bir hatadır. İmalatı tamamladıktan sonra ambalajlanan mamuller üzerinde son muayene hiç yapılmamış olabilir. Bazen son muayene yapılır, hatalı mamuller bilerek yada dikkatsizlik sonucu ayrılmadan ürün ambarına gönderilir. Bu tip hataları Önlemek amacıyla şunlar yapılabilir:

- Muayenesi yapılan her mamul o anda işaretlenmelidir, işaretler mamul üzerinde gözden kaçmayacak bir konumda olmalıdır.
- Montaj ve ambalaj işçilerine muayene görevi verilmemelidir. Buralarda işlem hızı genellikle yüksek olduğu için, muayene edilmiş yada edilmemiş mamullerin görülür bir şekilde işaretlenmesi ve muayene için ayrı elemanların kullanılması büyük önem taşır.
- Mamuller üzerine iyi-kötü, sağlam-bozuk, geçer-geçmez ve benzeri işaretler kesinlikle belirli ve yetkili muayeneciler tarafından konulmalıdır.

- İşaretler standartlara uygun ve özenle hazırlanmış olmalıdır. Etiket, plaka, mühür gibi işaretleme araçları bir bakıma işletmeyi temsil eder. Bu nedenle sadece yetkili kişiler tarafından, sayı ile kullanılarak izin verilmelidir.
- Muayenecilerden geçer işareti almayan mamullerin çıkışından sevkıyat çalışanları sorumlu tutulmalıdır.

3.2.4.4.3 İstenmeden İşlenen Hatalar

Muayeneci, görme ve hafıza kapasitesi yetersizliği, yetenek, beceriksizlik, yorgunluk gibi nedenlerle istemediği halde hataya düşebilir. Bunları bir ölçüye kadar kusur ve ihmal olarak saymak doğru değildir. Muayenecinin herhangi bir kasıtlı davranışı olmasa ve muayene kuralları tam anlamı ile yerine getirilse de birtakım hataların meydana gelmesi yine de olasıdır. Bu nedenle %100 muayeneden geçen bir partide hiç hatalı parça bulunmadığını iddia etmek yanlış olur. Muayenecinin seçiminde dikkatli davranmak, eğitim ve dengeli iş yükü sağlamak ile bu tür hatalar önemli ölçüde azaltılır (Kobu, 1981).

3.2.4.5 Muayenede Örnekleme Hataları

Örnekleme bir ana kütle için, belirli özellikler hakkında karar vermek amacıyla küçük bir kısmının seçilmesi olarak adlandırılabilir. Kalite kontrolün önemli faaliyetlerinden biri olan Örnekleme, ana kütle için uygunluk durumunun incelenmesi amacıyla yönelmiştir. Alıcı ve satıcı firmalar arasında mamul %100 olarak ya da örnekleme metodu ile bir kısmı değerlendirilerek incelenir. Bu iki metodun maliyetleri, verdikleri güven, kapsadıkları ve aldıkları zaman değişkendir (Kobu, 1981).

3.2.5 Organizasyonla İlgili Hatalar

Organizasyon çalışmaları esnasında bir takım kurul ve uygulama örneklerini göz önüne almanın yanı sıra işletmelerde sık rastlanan organizasyon hataları hakkında bilgi sahibi olmanın yararı vardır. Kalite kontrol sisteminin uygulamada başarı kazanması, işletme organizasyonu içinde koşullara uygun bir yerleştirme yapılmasına ve faaliyetlerin yürütülmesinde olumlu beşeri ilişkiler kurulmasına bağlıdır.

Bir işletmede, mevcut kalite kontrol sisteminin organizasyonunda hatalar yapıldığını gösteren belirtiler şunlardır;

- İşletmenin kalite kontrol amaçları ve politikaları belirlenmemiştir

- İşletme personeli arasında kalite kontrolün sadece muayene ve testlerde ibaret olduğu inancı vardır
- Tüm kalite kontrol faaliyetleri bir laboratuvar içerisinde yürütülür
- Kalite kontrolde muayene işlemlerini yapan kişiler katı bir kontrolcü zihniyet ile çalışırlar
- Kalite kontrol ile imalatta görevli kişiler arasında sık sık sürtüşmeler çıkar
- Yetki ve sorumluluklar gayri resmi şekilde belirlenmiştir
- Tepe yönetimi kalite konusuna gereken önemi vermemektedir
- Kalite kontrol departmanı imalata doğrudan bağlı bir ünite olarak organize edilmiştir
- İmalat hattının bazı bölümlerinde kalite kontrol faaliyetlerine hiç yer verilmemiştir.

3.2.5.1 İnsan Hataları

İnsan hataları, insan performansını etkileyen faktörlerin istenmeyen yön ve boyutta olanlarının bir araya gelmesi ile oluşur. Bu faktörler çalışma ortamında, ürün üretiminde ya da çalışanın özel hayatındaki problemler şeklinde çeşitli boyutlarda ortaya çıkar ve çalışana etkisi altına alır.

Çizelge 3.1 İnsan Hataları ve Çözüm Yolları

HATA ÇEŞİTLERİ	ÇÖZÜM YOLLARI
Yanlış Yorumlama	<ul style="list-style-type: none"> • Kesin tanımlama ve sözlük • Kontrol listeleri • Örnekler
Rastlantısal Hatalar	<ul style="list-style-type: none"> • Yetenek testi • Yoğunluğu azaltmak • Hatalı çalışmalarda emniyet dizaynı • Gereksiz işleri elimine etmek • Hata-önleme • Otomasyon, robotlar
Teknik Eksikliği	<ul style="list-style-type: none"> • Başarılı işçilerin sırrını keşfetmek

	<ul style="list-style-type: none"> • Teknolojiyi yeniden gözden geçirerek iş yapmak.
Kasıtlı Hatalar Savunma Renklendirme Taraf Tutma Gerek Görmeme	<ul style="list-style-type: none"> • Veri toplama planı dizaynını yeniden gözden geçirme ve sorumlu tutma atmosferinin ortadan kaldırılması • Raporların uygulanması veya neden sorusunun açıklanması, • Emirlerin yumuşatılması • Amaçlarda dengeli kurgu sağlama • Kalite kontrolleri iletme, yapma teşvik • İşi yeniden oluşturma.

3.2.5.1.1 İnsan Performansını Etkileyen Faktörler

İnsan performansını etkileyen faktörleri aşağıdaki başlıklarda düşünmemiz mümkündür.

- İş ile ilgili, performansı etkileyen faktörler
- Çevre ile ilgili, performansı etkileyen faktörler
- Fiziksel Çevre - Sosyal Çevre
- Organizasyonel Çevre
- Kişisel performansı etkileyen faktörler
- Psikolojik-fizyolojik performansı etkileyen faktörler

3.2.5.1.2 Sıfır Hata Üretiminin Engeli Olan İnsan Hataları

Diğer sınıflandırmada ise, sıfır hata üretiminin en Önemli engeli olan insan hatalarını dört ana başlık altında toplamak mümkündür.

- 1) Yanlış yorumlama; Kelimelerin çeşitli yorumlara neden olabilmesi temel noktadır. Benzer yorumlar sağlamak için kontrol listeleri ve örnekler ilave edilmiş kesin tanımlar kullanılmalıdır.
- 2) Rastlantısal hatalar: Amaçsız, tahmin edilemez ve genellikle kasıtsızdır. Hatayı yapan kişiler, hata yaptıklarının farkında değildirler.
- 3) Teknik eksiklikler: Nedeni eksik bilgidir. Tüm metotlar kontrol edilerek, eksik yönde teknik destek ve eğitim sağlanmalıdır.
- 4) Kasıtlı hatalar: Amaçlı ve isteyerek yapılan hatalardır. Hatayı yapan kişi hata yaptığını o anda bilir ve bunu devam ettirmeyi amaçlar.

3.2.5.2 Yönetim Hataları

Yönetimin işi denetlemek değil, liderlik yapmaktır. “işletmelerde sonuca odaklanmak yerine liderlik ve iyi yönetim gerçekleştirilmelidir” fikrini savunmak gerekir. Hataların ve yüksek maliyetlerin ne kadarının sistemden, ne kadarının iş yapanlardan kaynaklandığına dikkat etmek gerekir. Hataların sistemden kaynaklandığını düşünmek ve sistemdeki aksaklıkları düzeltmek çalışanlara esas motivasyonu sağlayacak bir etkinliktir.

Bu açıdan işletmelerin şeffaf ve yöneticilerin de kendi hatalarını düzeltmeye açık olmaları gerekmektedir. Yönetimden oluşabilecek çeşitli hatalar mevcuttur.

Bunlar;

- Asıl problemler ile ilgilenmemek
- Çalışanları iyi motive edememek
- Maliyeti düşürme çalışmaları yapmak
- Mükemmele ulaştık düşüncesine kapılmak.
- Sistem geliştirme çalışmalarına yardımcı olmamak
- Değişime açık olmamak

4. HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ

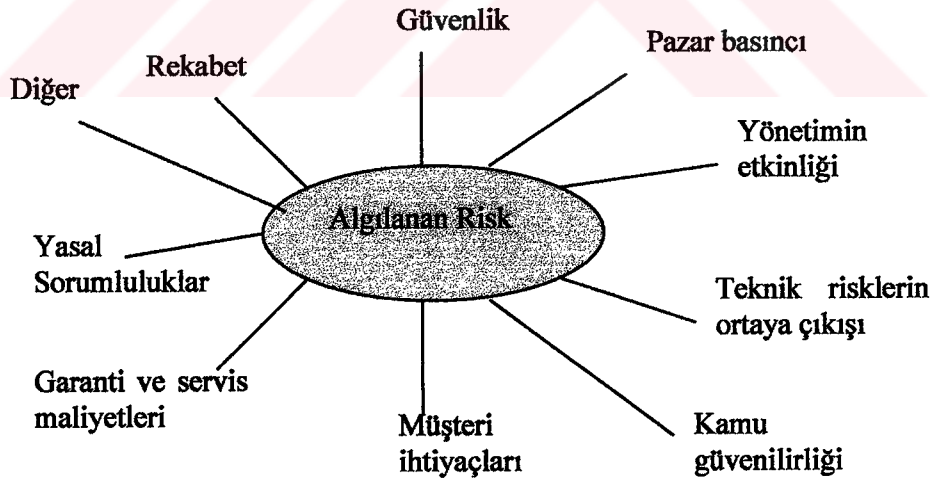
Dünya tarihinin çeşitli dönemlerinde çeşitli ülkeler teknolojiye yön verme konusunda öncü olmuşlardır. Bunların bazıları eski güçlerini zaman içinde kaybetmişler de, bazıları lider durumlarını hep koruyabilmişlerdir. Dolayısıyla geçmiş başarıların gelecek için önemi sanıldığından azdır diyebiliriz. Şu söz bu durumu en iyi şekilde tarif etmektedir: Daima 'hep yapmakta olduklarınızı' yapıyorsanız, daima 'hep almakta olduklarınızı' alırsınız. (If you always do what you always did, you will always get what you always got.) (Stamatis, 1995). Liderlik durumunu sürdürebilmek için asıl önemli olan, sürekli iyileşmek, değişmektir.

Bu değişim, belirsizlik ve riski de beraberinde getirir. Şirketlerin, operasyonlardaki bu riskleri önleme yada en azından minimize etme çabaları, risk yönetimi analizi kavramının oluşturmaktadır. Böyle bir analizin gereksinimleri oldukça kapsamlı ve yorucu olabilir. Riskin elenmesi, kontrolü ve azaltılması tüm organizasyonca yapılan ortak bir iştir.

Risklerin tanımlanması yada analiz; müşteri talepleri, sürekli iyileştirme felsefesi ve rekabetçi tutum gibi faktörler nedeniyle yapılabilir (Şekil 3.1).

Risk analizinin amacı şu iki temel soruya cevap vermektir:

1. Ne yanlışlık olabilir?
2. Eğer bir şeyler yanlış giderse, bunun olasılığı ve sonuçları nelerdir?



Şekil 4.1 Risk faktörleri (Stamatis, 1995)

Burada odaklanılacak nokta, eski anlayışın tersine, sorunları çözmek değil, önlemektir. Düşüncedeki bu değişiklik Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Risk analizindeki anlayışın değişimi (Stamatis, 1995)

Eski Anlayış	Yeni Anlayış
Problemlerin çözümü	Problemlerin önlenmesi
Kayıpların izlenmesi	Kayıpların önlenmesi
Güvenilirliğin hesaplanması	Güvensizliğin azaltılması

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) bu özelliği metodolojisinde barındıran bir tekniktir (Pyzdek, 2003).

Hata Türü ve Etkileri Analizi; bir sistemi, tasarımı, süreci veya hizmeti olası hatalar açısından değerlendiren spesifik bir metodolojidir.

1980 yılında yayınlanan ve bu konuda yayınlanmış ilk standartlardan biri olan MIL-STD 1629A (Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi Uygulaması için Prosedür)'da HTEA'nın genel tanımı "sistemdeki her bir olası hata Türünün, sistemdeki sonuçlarını veya etkilerini belirlemek ve önemlerine göre her bir hata türünü sınıflandırmak için analiz edildiği bir prosedürdür" şeklinde verilmektedir. Tanım daha geniş olarak; "HTEA 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 (Stamatis,1995)" şeklinde verilebilir.

HTEA; hatanın ortaya çıkmadan ve hatayı beklemediği için önlem almamış olan müşteriye ulaşmadan önce belirlenip, giderilmesini sağlayan bir hata analizi tekniğidir. Bu özelliği ile hataları ortaya çıkararak onarmak amacını taşıyan kalite kontrol yöntemlerinden farklılık gösterir. Çünkü HTEA, amacı hataları bulup onarmak değil, öngörüp, önlemek olan bir koruyucu tekniktir. Aynı zamanda bulunduğu hataları risk önceliğine göre sıralayan HTEA metodu, yöneticilere (karar vericilere) kıt olan kaynakları, öncelikli olarak hangi sorunları çözmek için kullanacaklarını göstermektedir. Bu özelliğinden dolayı; HTEA, artan müşteri tatmini sağlamakla birlikte, kuruluş kaynaklarının en etkin biçimde kullanılması için de yol gösterici olur. Sonuç olarak, HTEA operasyonel performansı ve üretim döngüsünü iyileştirirken, bunların toplam risk seviyelerini de azaltır (Scipioni vd., 2002).

Tanımlanan her bir (bilinen yada potansiyel) hata için, olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerleri kullanılarak bir hesaplama yapılır. Daha sonra, gerekli eylem için bir değerlendirme yapılır ki bu noktada gaye, hatanın etkisini yada olasılığını minimize etmektir.

Bu basit yaklaşım nitel (kalitatif) yada nicel (kantitatif) olarak ele alınabilir. Her iki şekilde de odak noktada ele alınacak hata bulunmaktadır. HTEA, sistem, tasarım, süreç yada hizmeti optimize etmek amacıyla mühendislik bilgisini, güvenilirliği ve organizasyonel gelişim tekniklerini çeşitli takımlar halinde kullanan sistematik bir tekniktir.

Her ne kadar en verimli sonuçlar takım çalışması ile elde edilecekse de, HTEA bireysel çabalarla da yerleştirilebilir ve yerleştirilmiştir. Her bir yaklaşımın avantajları ve dezavantajları, bu yaklaşımlara ilişkin fayda ve maliyetlerin ölçümüyle değerlendirilebilir.

HTEA'nın geliştirilmesi ve yerleştirilmesinin ek maliyetler getireceği açıktır, ancak, verimli uygulandığında fark edilir kalite ve güvenilirlik artışı sağlayabilmektedir. Bu artış hata maliyetlerinin düşürülmesiyle sağlanır. Hata maliyetlerinin düşürülmesi ise; tasarımın, sürecin yada hizmetin nasıl tasarlandığını, üretildiğini ve kullanıldığını bilen kişilerin bilgilerinin bir havuz oluşturması ile mümkün olur. HTEA bir takım çalışması olarak uygulandığında potansiyel hataların çoğunluğunun fark edilmesi ve tanımlanması şansı daha yüksek olacaktır. Tek kişilik bir HTEA çalışmasının maliyeti çok daha düşük olursa da, potansiyel hataları öngörebilme becerisindeki eksiklik nedeniyle, çalışmanın sonunda elde edilecek olan fayda, katlanılan maliyeti karşılamayacaktır. (Palady, 1995)

HTEA, mühendislerin çalışmalarının ve kararlarının yerini alması için değil, onların, göz önüne almamış olabilecek bazı potansiyel hata türlerini tanımlayabilmelerine yardımcı olması için tasarlanmıştır. Mühendisin söz konusu tasarım ile ilgili olarak en çok bilgiye sahip olması kuvvetle muhtemeldir, ancak yine de bir insan olarak, ilgili tasarımı diğer branşların gördüğü gibi göremez. Bir tasarıma bütün açılardan bakabilme becerisi, HTEA'nın takım olarak gerçekleştirilmesinin avantajlarından biridir.

Hata türleri ve etkileri analizi HTEA üç temel fonksiyona sahip olan bir tekniktir:

- 1) HTEA hataları önlemek için bir araçtır.
- 2) HTEA, yeni yada düzenlenmiş tasarımlar, süreçler ve hizmetler geliştirip yerleştirmek için bir prosedürdür.
- 3) HTEA, tasarım, süreç ve hizmetin günlüğüdür.

Bir araç olarak; HTEA, problemleri öngörüp, en ekonomik çözümleri tanımlama konusunda en verimli düşük risk tekniklerinden biridir. Bir prosedür olarak; HTEA, organizasyondaki

tüm dallarda tasarımların ve süreçlerin değerlendirilmesi, takibi ve güncellenmesi için yapısal bir yaklaşım içerir. Günlük olarak; HTEA, tasarım, süreç yada hizmet kavramından başlar ve ürünün raf ömrü (Saleable life) süresince devam eder. Bu süre zarfında ürünün kalitesi ve güvenilirliğinde meydana gelen değişiklikler HTEA çalışması bünyesinde değerlendirilmeli ve kaydedilmelidir (Palady,1995).

Bu yöntemi doğru sonuçlara ulaştırmak için aşağıdakilerin bilinmesi ve yerine getirilmesi gerekmektedir;

- 1) Bütün problemler aynı değildir: Bütün problemler eşit öneme sahip değildir. Bu bütün HTEA yönteminin belki de en temel kavramıdır. Zira amaç en önemli hatayı bulup ona odaklanmaktır.
- 2) Müşteri bilinmelidir:HTEA çalışması başlatılmadan önce müşterinin tanımlanması mutlaka gereklidir. Geleneksel olarak müşteri ifadesinden son kullanıcı anlaşılır. Bu basitleştirilmiş bir ifade olsa da problemle pek ilgisi olmayan bir tanımlamadır. Aslında bir müşteri aynı zamanda, hizmet operasyonu da dahil olmak üzere, bir sonraki yada daha sonraki operasyon olarak da görülebilmelidir (Stamatis,1995). Bazı durumlarda müşteri operasyonun kendisi de olabilir.
- 3) Fonksiyon bilinmelidir: Fonksiyonun (işlev), niyetin ve bitirilecek işteki hedefin bilinmesi gerekliliği çok açıktır. Aksi halde sonuç zaman kaybından başka bir şey olmayacaktır. Bu nedenle sistemin analizi çok önemlidir. Gerektiğinde fazladan zaman ayırarak ilgili herkesin işlevi, niyeti ve bitirilecek işteki hedefi anlaması sağlanmalıdır.
- 4) Önlemeye odaklanılmalıdır: Eğer HTEA'yı başlatan güç sürekli iyileştirme anlayışı değilse, HTEA'yı yürütme çalışmaları da durağan olacaktır. Yani, HTEA müşteri/pazar ihtiyaçlarını yalnızca kağıt üzerinde tatmin edecektir. Zira bu durum; HTEA'nın yürürlüğe konması sırasında sıklıkla karşılaşılan bir sorundur. Genel teamül, işin çabucak bitirilip, bir sonraki basamağa geçilmesi yönündedir. Oysa, hız ile kalite arasındaki korelasyon göz ardı edilmektedir. (Stamatis, 1995)

4.1 HTEA Terminolojisi

Diğer bilimsel yöntemlerde olduğu gibi HTEA'da da bazı özel tanımlar mevcut. Çok karmaşık ifadeler olmasalar da bu tanımları bilmek yöntemin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Bu bölümde HTEA kapsamında en çok karşılaşılan terimsel ifadeler açıklanmaya çalışılmıştır.

- 1) **Fonksiyon:** Sistem, tasarım, süreç yada servisin yerine getirmesi gereken görev (Stamatis,1995). Bütün HTEA sürecini anlamak açısından bu fonksiyon çok önemlidir.
- 2) **Hata Türü:** Hata türleri zaman zaman hata kategorileri şeklinde tarif edilirler. Bir olası hata türü, bir ürün yada sürecin müşterilerin ihtiyaçları, istekleri beklentileri doğrultusunda belirlenmiş, arzu edilen fonksiyonunu yerine getirmede başarısızlığa uğrama şeklindedir (Pillay ve Wang, 2003). Hata türlerine örnek olarak; aşınma, çatlama, yırtılma, yanma, titreşim vb. verilebilir.
- 3) **Hata Nedeni:** Belirli bir hata türü için “Bu hata türü neden ortaya çıkar?” sorusunun cevabıdır. HTEA çalışmasının en önemli kısmıdır denebilir. Zira önleyici yada düzeltici faaliyetin hedefini teşkil eder.
- 4) **Hata Etkisi:** Hata türü ortaya çıkıp, ürün bu haliyle müşterinin eline geçtiğinde, müşterinin karşılaşacağı durumları ifade eder. Her bir hata etkisinin bir şiddeti vardır.
- 5) **Müşteri:** Son kullanıcı olabileceği gibi, bir sonraki işlem yada süreç de olabilir.
- 6) **Olasılık:** Bir hata türünün ortaya çıkma sıklığını ifade eder. HTEA sürecinde bu oran yerine oranı temsil eden bir katsayı kullanılır. Katsayılar belirli bir skalaya yerleşmiş sayı dizilerinden alınırlar.
- 7) **Şiddet:** Hata etkisinin sayısal olarak ifade edilen değeridir.
- 8) **Keşfedilebilirlik:** Hata türü ortaya çıktığında, ürün müşterinin eline geçmeden önce, hatanın tespit edilebilirliğini ifade eden sayısal değerdir. Diğer risk faktörlerinin aksine keşfedilebilirlik arttıkça risk hesabına giren katsayı küçülmektedir. Daha açık olarak, genel kullanımda “Keşfedilebilirlik” ifadesi yer alsa da, buna karşılık gelen sayı değeri “keşfedilememe” durumunun derecesini gösterir.
- 9) **Önleyici / Düzeltici Faaliyet:** Bir hata türünün nedenini ortadan kaldıracak olan yada hata türünün olasılığını azaltacak olan faaliyet.

4.2 HTEA Türleri

HTEA ilk olarak 1960’larda Amerikan uzay programında kullanılmış, daha sonra da askeri standart olarak kabul edilmiştir (Pyzdek,2003).

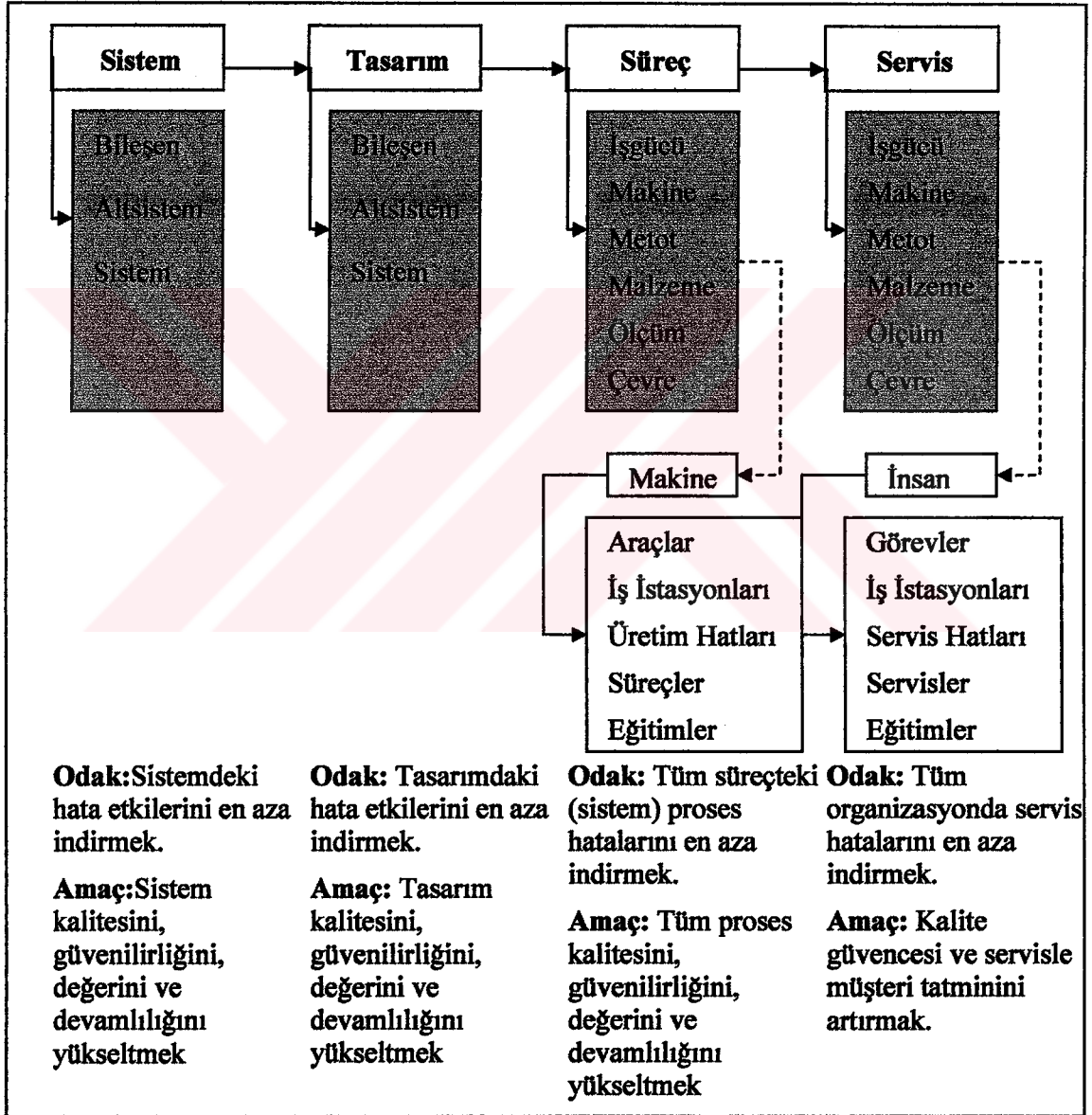
60’ların ortalarında geliştirildiğinden beri iki farklı HTEA türü ortaya çıkmıştır (Palady,1995).

- 1) Tasarım HTEA
- 2) Süreç HTEA

Stamatis (1995)'e göre ise HTEA genel olarak dört başlık altında sınıflandırılır. Stamatis (1995), Palady (1995)'ye ek olarak şu türleri de listeler:

- Sistem HTEA
- Servis HTEA

Şekil 4.2'de bu türlerin amaçları ve ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 4.2 HTEA türleri ile bunların ilişkileri ve amaçları (Stamatis, 1995)

Yukarıdaki iki görüş birbirinden farklı görülmektedir ancak türler ve ilişkileri incelendiğinde HTEA'nın kabaca ilk olarak bahsedilen iki tür (Tasarım ve Süreç) ile de tarif edilebileceği görülebilir.

4.2.1 Sistem HTEA

Sistem HTEA sistemleri ve alt sistemleri düşünce ve tasarım aşamasında analiz etmek için kullanılır. Sistem HTEA, fonksiyonlar arasındaki sistem kusurlarından kaynaklanan olası hatalara odaklanır. Ayrıca sistemler ve sistemin elemanları arasındaki etkileşimi de içerir.

Sistem HTEA'nın çıktıları şunlardır:

- Olası hataların RÖS'e göre sıralanmış bir listesi
- Olası hataları önleyebilecek sistemlerin bir listesi
- Hata türlerini, emniyet sorunlarını yok edecek ve olasılığı düşürecek tasarım faaliyetlerinin bir listesi

Sistem HTEA'nın faydaları da şöyle sıralanabilir:

- Optimum sistem tasarım alternatifinin seçimine yardım eder.
- Fazlalıkların tayinine yardım eder.
- Sistem seviyesinde teşhis prosedürlerinin oluşturulmasına yardım eder.
- Olası sorunların düşünülecek olması ihtimalini artırır.
- Olası sistem hatalarını ve bunların diğer sistemlerle ve alt sistemlerle etkileşimini tanımlar

4.2.2 Tasarım HTEA

Tasarım HTEA ürünleri imalata gönderilmeden önce analiz etmek için kullanılır. Tasarım HTEA tasarım kusurları yüzünde oluşan hatalara odaklanır. Tasarım HTEA uygulanırken cevaplamak istenen temel soru "Bu tasarım kendisinden bekleneni yapmakta nasıl bir hataya düşer?"dir.

Tasarım HTEA'nın çıktıları şunlardır:

- Olası hataların RÖS'e göre sıralanmış bir listesi
- Kritik ve/veya önemli karakteristiklerin bir listesi

- Hata türlerini, emniyet sorunlarını yok edecek ve olasılığı düşürecek tasarım faaliyetlerinin bir listesi
- Uygun test, araştırma ve tespit yöntemleri için parametrelerin bir listesi
- Kritik ve önemli karakterler için önerilen faaliyetlerin bir listesi

Tasarım HTEA'nın faydaları şunlardır:

- Tasarım iyileştirme faaliyetleri için bir öncelik oluşturur.
- Değişimlerin temel nedenlerini belgeler.
- Ürün tasarım doğrulamasına ve testine yardım edecek bilgileri sağlar.
- Kritik ve önemli karakteristiklerin tanımlanmasına yardım eder.
- Tasarım gereksinimlerinin ve alternatiflerinin değerlendirilmesine yardım eder.
- Olası emniyet sorunlarının tarifine ve yok edilmesine yardım eder.
- Ürün hatalarının henüz geliştirme aşamasındayken tanımlanmasına yardım eder.

4.2.3 Süreç HTEA

Süreç HTEA, montaj ve imalat süreçlerinin analizinde kullanılır. Süreç HTEA, tasarımı yapılmış ürünün en az hata ile müşteriye ulaşmasını sağlamak amacıyla, öngörülen özelliklere uyulmadığında imalat veya hizmet esnasında ortaya çıkacak sorunları tanımlamaya çalışır. Tasarım HTEA'dan tek farkı odaklandığı noktadır.

Süreç HTEA'nın çıktıları şunlardır:

- Olası hataların RÖS'e göre sıralanmış bir listesi
- Kritik ve/veya önemli karakteristiklerin bir listesi
- Kritik ve önemli karakterleri ortaya çıkarmak için önerilen faaliyetlerin bir listesi
- Hata türlerini, hata nedenlerini, olasılığı düşürecek ve C_p (süreç yeterliliği)'nin arttıramadığı durumlarda keşfedilebilirliği arttıracak faaliyetlerinin bir listesi

Süreç HTEA'nın faydaları şöyle sıralanabilir:

- Süreç kusurlarını tanımlar ve bir düzeltici faaliyet planı sunar.
- Kritik ve önemli karakteristikleri tanımlar ve kontrol planlarının oluşturulmasına yardım eder.

- Düzeltici faaliyetlerin önceliğini oluşturur.
- İmalat ve montaj sürecinin analizine yardım eder.
- Değişiklikler için temel gerekçeleri belgeler.

4.2.4 Servis HTEA

Servisi, müşteriye ulaşmadan önce analiz etmek için kullanılır. Bir servis HTEA sistem yada işlem hatalarından kaynaklanan hata türlerine (görevler, yanlışlıklar) odaklanır.

Servis HTEA'nın çıktıları şunlardır:

- Olası hataların RÖS'e göre sıralanmış bir listesi
- Kritik ve/veya önemli görevlerin yada işlemlerin bir listesi
- Olası darboğaz işlemlerin yada görevlerin bir listesi
- Hataları yok edecek faaliyetlerin bir listesi

Servis HTEA'nın faydaları şöyle sıralanabilir:

- İş akışının analizine destek verir
- Sistem/süreç analizine destek verir.
- Görev kusurlarını tanımlar.
- Kritik ve önemli görevleri tanımlar ve kontrol planlarının oluşturulmasına yardım eder.
- İyileştirme faaliyetleri için öncelik oluşturur.
- Değişiklikler için temel gerekçeleri belgeler.

Sonuç olarak, bütün HTEA türleri, hatalar ortaya çıkmadan ortadan kaldırma ortak amacını taşıyan ancak ürün veya sistemin farklı aşamalarına uygulanan yaklaşımlardır. Uygulama sürecinde sadece yararlandıkları bilgiler ve odaklandıkları noktalar açısından farklılıklar gösterirler. Her dört HTEA çeşidinden de çok olumlu sonuçlar elde edebilmek için analiz tamamlandıktan sonra, önerilen düzeltici faaliyetlerin uygulanması, sonuçların izlenmesi gerekir.

4.3 HTEA'nın Uygulanması

Yöneticilerin belirli bir sistemde, tasarımda, süreçte ve/veya serviste riskleri en aza indirme tutkuları güvenilirlik mühendisliğini ortaya çıkarmıştır. Aslında sadece en aza indirmek değil, mümkün olduğunda riskleri tanımlamak içinde bu gereklidir. Şekil 4.1'de tarif edilen bu riskleri oluşturan faktörlerin bir kısmı görülmektedir.

Bu riskler güvenilirlik mühendisliği ve / veya istatistiksel analizlerle ölçümlenebilirler. Ancak HTEA teknik matematik kullanmadan temel prensipleri açıklığa kavuşturmuştur. Aynı zamanda da herkesin kullanabileceği bir araç olmuştur.

İstatistiksel Proses Kontrol (İPK) da özellikle süreç ve servis HTEA çalışmasının başlamasına hız kazandıran bir başka araçtır. İPK değişime bağlı olarak süreç ile ilgili bilgiler sağlar. Bu değişimler genel ve özel durum olarak adlandırılırlar. HTEA perspektifinden, bu "genel durum", var olan bir hata mekanizmasının sonucu olan ve tüm popülasyonu etkileyebilecek hatalar olarak algılanabilir. Bu noktada, bu genel durum, sistem yada tasarımın test edilmesini gerektirebilecek sorular ve sorunlar doğurabilir.

Diğer taraftan, "özel durumlar" parça kusurlarından yada üretim hatalarından kaynaklanan hatalar olarak algılanırlar ve nispeten küçük bir popülasyonu etkileyebilirler. Bu noktada süreci gözden geçirmek için bir neden var demektir.

HTEA çalışmasını yürütme güdüsü güçlü bir biçimde müşteri isteklerinden gelir. Örneğin tüm büyük otomobil şirketlerinin tedarikçi sertifikasyonu standartlarında (Ford - Q101, General Motors - Mükemmellik Hedefleri, Chrysler – Pentastar) bir HTEA programı yer almaktadır. Aynı durum diğer endüstriler için de geçerlidir. (Stamatis, 1995)

ISO 9000 serileri gibi uluslararası standartlar tasarım dokümantasyonun programını tarif edebilirler. Örneğin, EC 1985'in ürün güvenliği direktifinde, hatalı bir ürün yüzünden bir kişinin yada bir objenin zarar görmesi durumunda hatanın ne olduğuna bakılmaksızın üretici firmanın sorumlu tutulacağı yazılıdır. (Stamatis, 1995)

HTEA tekniğinin kullanım amaçları şu şekilde özetlenebilir :

- Bir ürünün tasarım ve imalatıyla ilgili olası hata şekilleri ve nedenlerini belirleyip değerlendirmek.
- Olası hataları risk derecelerine göre sıralamak
- Olası hatanın ortaya çıkma şansını ortadan kaldırmak veya azaltacak faaliyetleri belirlemek.

- Uygulama sürecini yazılı hale getirmek.

HTEA çalışması yürütmenin diğer faydaları şöyle sıralanabilir (Stamatis, 1995):

- Temel farklılıklar oluşturulması için önemli fırsatların tanımlanmasına yardım eder. Zira, kendisini “en ucuz” olarak ifade edebilecek yalnızca bir adet organizasyon olabilir. Diğerleri farklı özelliklere dayanmalıdırlar.
- Ürün yada servisin kalitesini, güvenilirliğini ve emniyetini artırır . (Çizelge 4.2 %99.9 oranında kalitenin bile mevcut şartlar altında yeterince iyi olmadığını göstermektedir.)
- Şirketin imajını ve rekabet gücünü iyileştirir.
- Müşteri tatmininin artırılmasına yardım eder.
- Ürün geliştirme zamanını ve maliyetini düşürür.
- Optimal sistem tasarımı seçimine yardım eder.
- Sistem aşırılığının belirlenmesine yardım eder.
- Teşhis (muayene) prosedürlerinin tanımlanmasına yardım eder.
- Tasarım iyileştirme eylemleri için öncelikler belirler.
- Kritik yada önemli karakteristikleri tanımlamaya yardım eder.
- Yeni üretim yada montaj süreçlerinin analizine yardım eder.
- Hasar önleme için bir forum oluşturulmasına yardım eder.
- Görevlerin, görev sıralarının ve servisin analizine yardım eder.
- Hata tanımlama ve önlemeye yardım eder.
- Düzeltici faaliyet tanımlanmasına yardım eder.
- Erken aşamalarda yüksek güvenilirlikli ve emniyetli alternatiflerin seçimine yardım eder.
- Operasyonel başarı için tahmin edilebilecek tüm hataların ve etkilerinin göz önüne alındığını garanti eder.
- Potansiyel hataları listeler ve etkilerinin nispi önceliklerini belirler.
- Sistem, tasarım, süreç yada servisin geliştirilmesi sırasında ve son geçerlilik testinde, test programı için bir temel oluşturur.

- Gelecekteki tasarım, süreç ve servis değişikliklerinde yardımcı olacak tarihsel bir dokümantasyon sağlar.
- Risk azaltma faaliyetlerinin izlenmesi ve önerilmesi için bir forum sağlar.

Çizelge 4.2 Amerika'da %99.9 kalitenin anlamı (Stamatis, 1995)

Günde bir saatlik emniyetsiz su içimi	Her gün 12 çocuğun yanlış ailelere verilmesi
Yılda 14.208 defolu kişisel bilgisayar	Günlük 107 yanlış tıbbi prosedür uygulanması
Her saat 16.000 parça posta kaybı	Yılda 268.500 defolu teker ihracatı
Yılda 20.000 yanlış reçete	İki milyon kayıp resmi belge
Her hafta 500 hatalı cerrahi operasyon	880.000 hatalı kredi kartı
Her yıl 19.000 yeni doğmuş bebeğin yere düşmesi	Yılda 32.000 kere kalp atışının bozulması
Her saat yanlış hesaptan çekilen 22.000 çek	

HTEA çalışması yürütmenin en önemli nedeni sürekli iyileşme (ilerleme) isteğidir. HETA'nın faydalarının çoğunu elde edebilmek de işte bu isteğin şirket kültürü haline gelmesiyle mümkün olabilecektir. Aksi halde başarısızlık kaçınılmazdır.

4.3.1 Kritik yada Önemli Karakteristikler ve Anahtar Belirteçler

Müşteri tatminini sağlamak için ürün ve servislerin kalitesi birinci öncelikte olmalıdır. Görev kalitedeki (misyon) asla durmayan iyileştirmeye (hataların, maliyetlerin, yanlışların azaltılması, yok edilmesi ile) müşteri tatminini arttırmaktır. Bu amacı desteklemek için bir firma bir çok ölçüt benimseyebilir. Bu ölçütler (bunlara belirteç, kritik veya önemli karakteristikler de denir) sayıca fazladır ve pek bilinmezler (Stamatis, 1995).

Bu karakteristiklerin seçimindeki önemli nokta ürün müşterinin eline geçmeden önce kalite sorunlarını saptayabilme yeteneğidir. Bu karakteristikleri belirlemenin en uygun yeri de projenin tasarım aşamasıdır.

HTEA ile alakalı tanımlar şöyledir:

Kritik Karakteristikler; yasal düzenlemelere yada emniyetli ürün ve servis operasyonlarına uyumu etkileyen karakteristiklerdir. Bu karakteristikler çizimlerde ve prosedürlerde olduğu gibi, HTEA formunda da belirtilmelidir.

Genellikle kritik karakteristikler şunlar tarafından belirlenir (Stamatis, 1995):

- Mahkemeler – Ürün sorumluluğu
- Müfettişler – Yasalar ve düzenlemeler
- Endüstriyel Standartlar – Endüstride genel kabul gören uygulamalar
- Müşteri Talepleri – İstekleri, ihtiyaçları, beklentileri
- Dahili Mühendislik Gereksinimleri – geçmiş veri yada öncü teknoloji, veya ürün/servis deneyimi

Önemli karakteristikler; veri toplanması gereken bir süreç, ürün yada servisin kalite özellikleridir. Bu karakteristikler HTEA takımı da dahil olmak üzere tedarikçiler ve müşterilerin fikir birliğine varmalarıyla belirlenir.

Bir tedarikçinin patentli tasarımı kullanılıyorken, tedarikçi ve müşterinin kalite planlama takımının kalite gereksinimlerini ve müşteri beklentilerini etkileyen dahili karakteristikleri belirlemesi kaçınılmazdır. Servis HTEA’da müşterinin sesi, anket, KFA yada “benchmarking”le sürece dahil edilebilir.

Tasarım ve süreç HTEA’nın içeriği uygun önemli ürün, süreç veya servis karakteristiklerini belirlemek olmalıdır. Şekil 4.3 Ford Motor Company’nin optimum tasarım için mümkün olan diğer araçlara bağlı olarak HTEA’yı nasıl gördüğünü açıklamaktadır. (Stamatis, 1995)

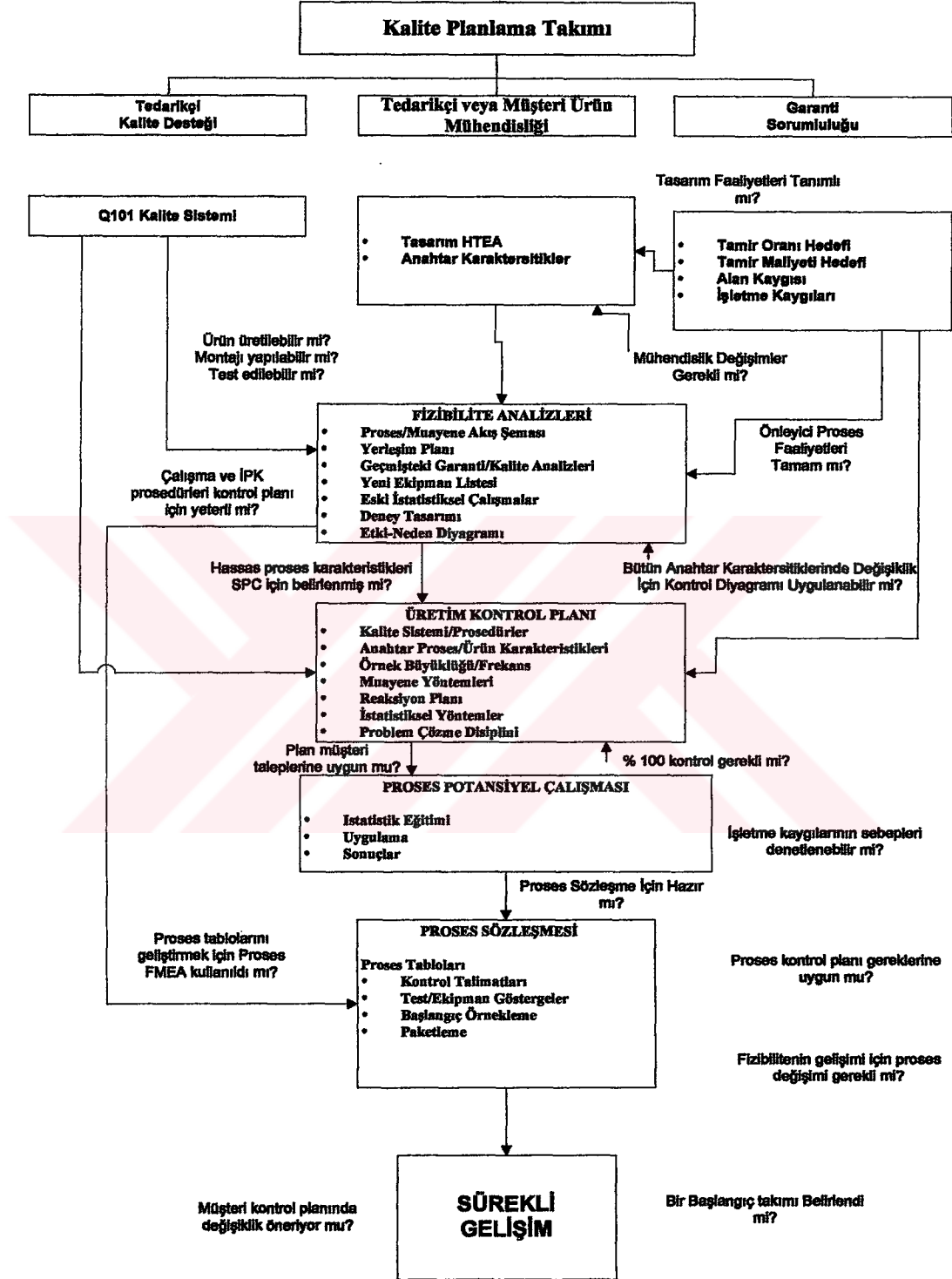
Bütün önemli karakteristikler fizibilite aşamasında belirtilmeli ve uyumlandırılmalıdır.

Anahtar belirteçler; sürece hızlı geri belseme yapan, böylece kalite konularında ani düzeltme fırsatı sağlayan ölçüm belirteçleridir. Kalite konularıyla müşteri tatminsizliğinin nicel ve nitel ölçütlerini belirlediği gibi, kaynağında problem tanımlanmasını da sağlar.

HTEA’da kullanılan üç tip anahtar karakteristik vardır (Stamatis, 1995):

- Öncü karakteristik: Ürün yada servis müşteriye yollanmadan önce değerlendirilen ve analiz edilen kalite ölçütü.
- Orta karakteristik: Ürün yada servis müşteriye yollandıktan sonra ancak müşterinin eline geçmeden önce değerlendirilen ve analiz edilen kalite ölçütü.

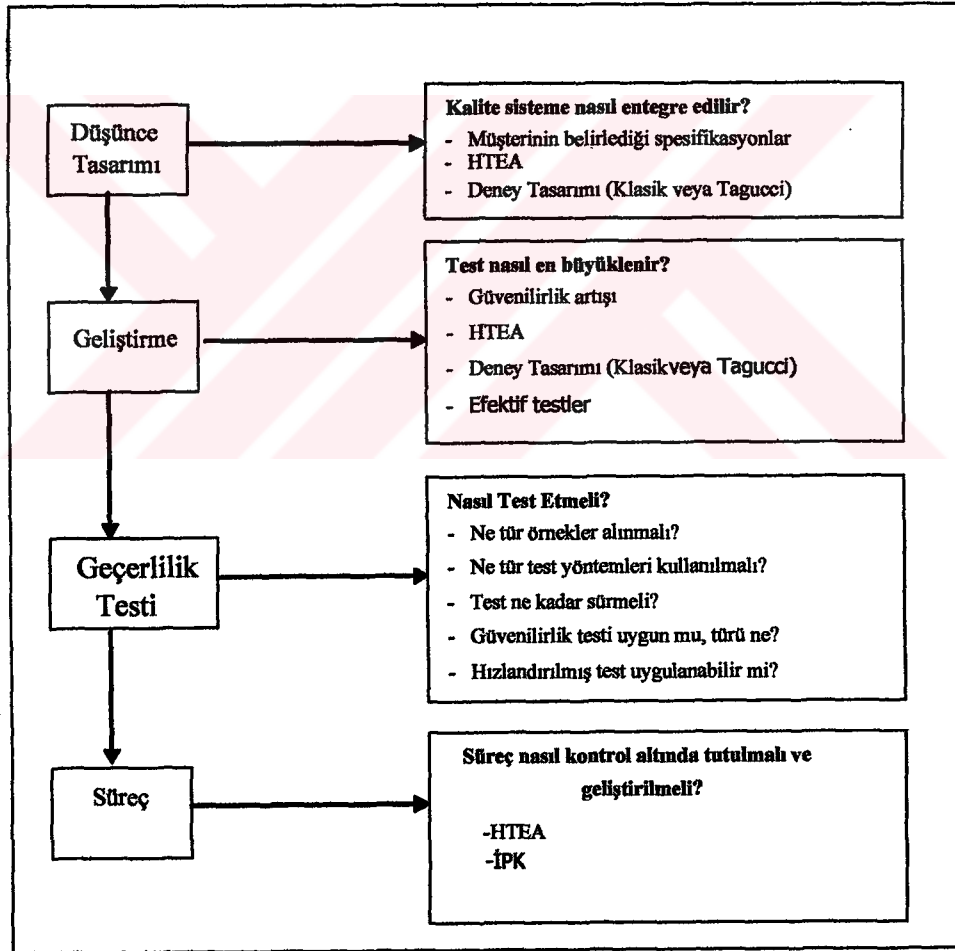
- Gecikmiş karakteristik: Müşteri tatminini ölçmek için, ürün veya servis üretildikten veya iletildikten çok sonra değerlendirilen ve analiz edilen kalite ölçütü.



Şekil 4.3 HTEA İlişkileri (Stamatis, 1995)

HTEA'nın başlatılması genellikle şu durumlarda gerekli olur (Stamatis, 1995):

- Yeni sistemler, tasarımlar, ürünler, süreçler yada servisler tasarlanırken
- Mevcut sistemler, tasarımlar, ürünler, süreçler yada servisler nedeni ne olursa olsun değiştirilirken
- Sistemlerin, tasarımların, ürünlerin, süreçlerin yada servislerin mevcut durumları için yeni uygulamalar bulunurken
- Mevcut sistemler, tasarımlar, ürünler, süreçler yada servisler için iyileştirmeler düşünülürken
- HTEA'nın bir sürekli iyileştirme yol haritası olduğu unutulmamalıdır. Bu açıdan, HTEA sistemin başlangıcı ile üretim yada servisi iletimi arasında her hangi bir noktadan başlatılabilir. Şekil 4.4'te bu yol haritası gösterilmektedir.



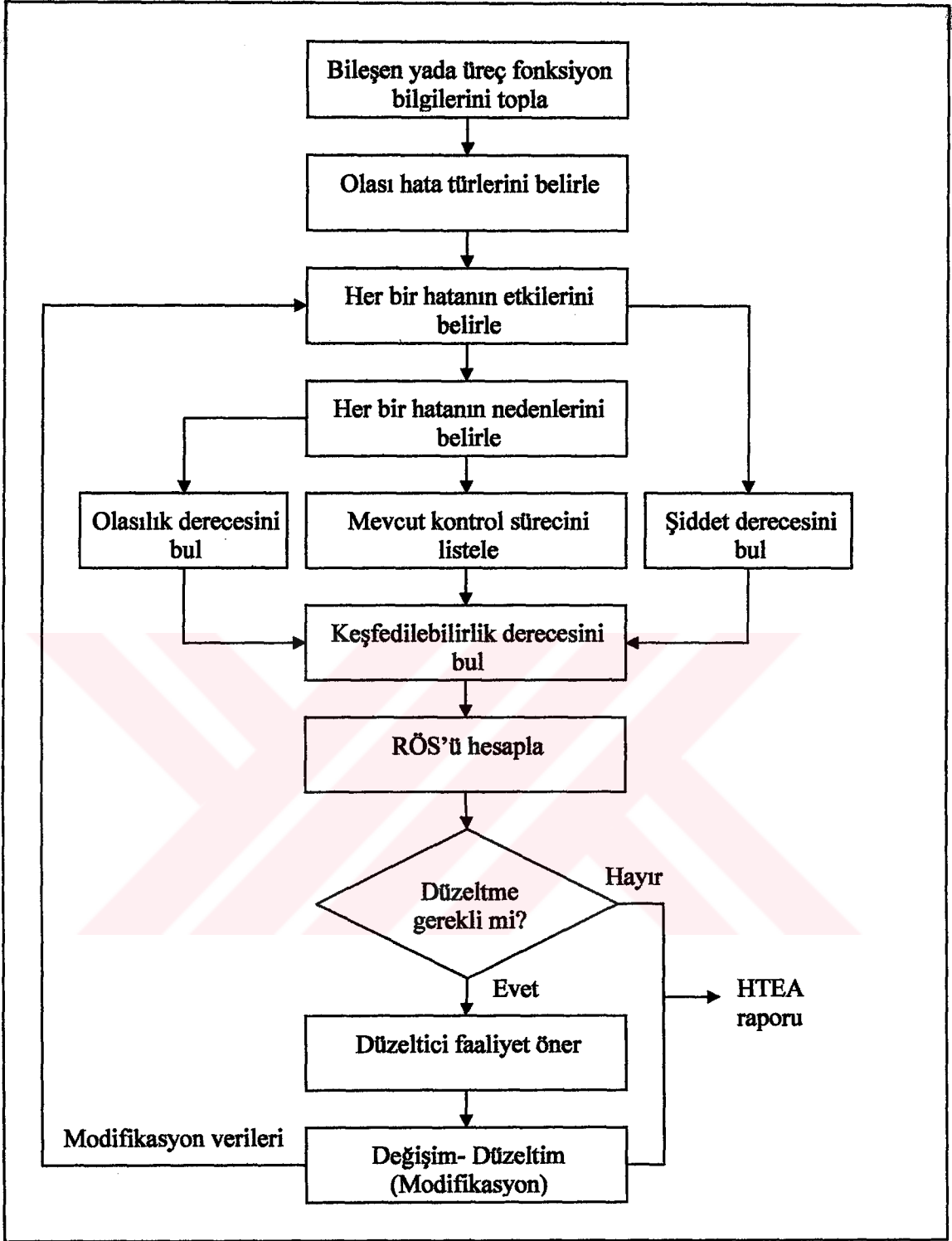
Şekil 4.4 Ürün mühendisliği ve HTEA yol haritası (Stamatis, 1995)

HTEA başladıktan sonra, yaşayan bir belgeye dönüşür ve asla tamamen bitmez. HTEA tam anlamıyla dinamik bir geliştirme aracıdır, çünkü her aşamada sistemi, tasarımı, ürünü, süreci yada servisi iyileştirecek bilgiler kullanır.

4.4 HTEA Prosedürü

Bir HTEA süreci Şekil 4.5'te gösterildiği gibi çeşitli adımlara bölünebilir. Genel itibariyle bu adımların yerine getirilmesi standart bir HTEA için yeterli olacaktır. Bu adımlar kısaca şöyle açıklanabilir:

- 1) Düzgün çalışırken sistemin ne yapması gerektiğinin iyi anlaşılması.
- 2) Bileşen araştırmasını 'belirli bir alanda sınırlamak' için sistemi alt sistemler ve/veya ünitelere bölme.
- 3) Bileşenleri ve bileşenler arasındaki ilişkileri belirlemek için ozalit çizimler, şemalar ve akış şemaları kullanma.
- 4) Her ünitenin komple bileşen listesini geliştirme.
- 5) Sistemi etkileyebilecek operasyonel ve çevre kaynaklı zorlamaları belirleme. Bu zorlamaların bileşenlerin performansını nasıl etkileyebileceğini değerlendirme.
- 6) Her bileşenin hata türlerini ve hata türlerinin üniteler, alt sistemler ve tüm sistem üzerindeki etkilerini tespit etme.
- 7) Her hata türünün tehlike düzeyini (şiddet) sınıflandırma (bu maksatla çeşitli nitel sistemler geliştirilmiştir)
- 8) Olasılığı tahmin etme. Sağlam nicel istatistiksel bilgi yoksa, bu, nitel tahminler kullanılarak da yapılabilir.
- 9) Risk öncelik sayısını (RÖS) hesaplama: RÖS, ihtimali, şiddeti ve tespit edilebilirliği temsil eden endeksin çarpımı olarak verilmektedir.
- 10) RÖS'e bağlı olarak önlem gerekip gerekmediğini tespit etme.
- 11) Sistem performansını iyileştirici tavsiyeler geliştirme. Bu, iki kategoriye girer:
 - Önleyici işlemler: bir arıza durumunu önleme.
 - Telafi edici işlemler: bir arıza halinde kayıpları en aza indirme.
- 12) Analizi özetleme ve her şeyi baştan tekrar etme: Bu bir tablo halinde yapılabilir.



Şekil 4.5 HTEA süreci (Pillay ve Wang, 2003)

Genel olarak, FMEA tablosunda her bileşene ait bir ana satır bulunur. Bu bileşenlerin birden çok hata türü olabildiğinden, ana satır bazen alt satırlara bölünür, her alt satır da belirli bir hata türünü özetler. Tablo aşağıdaki sütunlar halinde düzenlenir:

- a) Bileşen: Her bileşen için başlıca bir sıra oluşturulur.
- b) Hata türü (türleri): Hata türleri belirlenir ve her tür için bir alt sıra oluşturulur.
- c) Etkiler (hata türü itibariyle): Emniyet ve sistem performans üzerindeki arızadan doğan etkiler açıklanır. Detaylı olumsuz sonuçlar listelenir.
- d) Hata türü nedenleri (biliniyorsa): Bunlar, hata türü olasılığını artıran çevresel ve/veya çalışma kaynaklı zorlamaları içerir.
- e) Hata türü tespit yöntemleri (biliniyorsa): Bu kayıt bir arızanın vukuunu önlemezse de, bir arızanın vuku bulmuş olduğunu keşfetmek önemlidir. Bu sütun bir bileşenin arızalanmış olduğuna dair işaret ve belirtileri temsil etmek için kullanılır.
- f) Olasılık (O): Güvenilirlik verisi yoksa, tahmin kullanılarak nitel derecelendirmesi.
- g) Tehlike düzeyi (şiddet-Ş): Deneyim verisi yoksa, nitel derecelendirmeler kullanılarak tahmin edilir.
- h) Tespit edilebilirlik (Keşfedilebilirlik-K): Güvenilirlik verisi yoksa, tahmin kullanılarak nitel derecelendirmesi.
- i) RÖS: Hesaplanan değerler.
- j) Önerilen faaliyetler: Etkileri en aza indirmek üzere donanım tadilatı ve/veya telafi edici önlemler.

Bu sütunların içindeki sayısal değerler çeşitli şekillerde saptanabilir.

4.4.1 Tablo Değerlerinin Belirlenmesi

HTEA'nın takım çalışması şeklinde yürütülmesinin faydalı olacağı daha önce belirtilmişti. Tablo değerlerinin bulunması da bu takımın (bu takım çeşitli uzmanlardan oluşmalıdır) işidir. Fonksiyonun belirlenmesinden sonra hata türleriyle, bunların nedenleri ve etkileri beyin fırtınası tekniğiyle listelenir. Tablodaki sayısal değerler ise yine takım olarak verilirse de uygulaması biraz farklıdır.

HTEA tablosunda sayısal olarak ifade edilen ve hataların önceliğinin belirlenmesinde kullanılan üç bileşen vardır:

- Olasılık (O)
- Şiddet (Ş)
- Keşfedilebilirlik (K)

Olasılık hatanın oluşma sıklığını ifade eden bir değişkendir. Şiddet hata etkilerinin büyüklüğünü ve ciddiyetini ifade eden bir değişkendir. Keşfedilebilirlik ise mevcut sistemlerin hatayı müşteriye ulaşmadan yakalayabilmesinin bir ölçüsüdür.

Bu bileşenlerin değerlerini belirlemek için bir çok yol mevcuttur. Bu yollardan en çok kullanılanı da her bir risk faktörü için nümerik skalalar (risk kriter çizelgeleri) kullanmaktır. Bu çizelgeler nitel yada nicel olabilirler.

Eğer çizelgeler nitel ise, bileşenin teorik (beklenen) davranışlarını yansıtmalıdır. Örneğin, olasılık söz konusu olduğunda, beklenen davranış normaldir. Çünkü zaman içindeki frekanslar normallik arz ederler. Bu yüzden, olasılık çizelgesi normal dağılımı yansıtmalıdır.

Eğer çizelgeler nicel ise, değerlerde belirli (gerçek) olmalıdır. Değerlendirme gerçek, istatistiksel proses kontrol verilerini, tarihsel verileri ve benzeri verileri yansıtmalıdır. Çizelgenin teorik değerleri göstermesine gerek yoktur.

Risk faktörünün büyüklük sıralaması çeşitli şekillerde olabilir. Bununla ilgili bir standart yoksa da yaygın olarak kullanılan iki sıralama tipi mevcuttur: 1 ile 10 arası puanlama ve 1 ile 5 arası puanlama.

1 ile 5 arası skalalar yorumlama kolaylığı sağlamalarına karşılık sayısal hesaplamalarda hassaslığın yitirilmesine neden olur. 1 ile 10 arası skala daha çok önerilir. Çünkü kolay yorumlama kolaylığının yanında hassaslığı da sağlamaktadır. 1 ile 10' dan daha büyük skalalar kullanan çizelgeler yorumlama zorluğu yarattığı ve verimliliği düşürdüğü için pek tavsiye edilmez.

Olası bir hata türü için olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerleri bir uzman yada uzmanlar grubu (HTEA takımı) tarafından tahmin edilir. Eğer var olan bir hata üzerinde çalışıyorsa geçmiş veriler kullanılabilir. Ancak henüz ortada olmayan bir süreçte olası hatalar söz konusu olduğunda bu değerlerin verilmesinde ilk akla gelen ifadeler sayısal özellikleri olmayan sözcükler yada kesinliği olmayan yaklaşık sayısal değerler olmaktadır. Örneğin, x hata türü için olasılık değerini tahmin eden bir uzman, “düşük”, “orta” gibi ifadelerde bulunur. Kendisinden 1-10 arasında bir sayı istendiğinde ise –ki RÖS hesabı için bu sayıya ihtiyaç vardır- kesinliği olmayan “yaklaşık 3”, “5 civarında” gibi cevaplar verir.

HTEA risk faktörü çizelgeleri bu sebeple hem dilsel ifadeleri hem de bu dilsel ifadelerin her birine karşılık bir sayıyı gösterir.

Sistemin bu noktada eksiklikleri olduğu açıktır. Zira dil ile ifade edilen bir değer, tek bir sayı karşılığının bulunması kağıt üstündeki hesapların gerçek değerlerden uzaklaşmasına neden olmaktadır.

Çizelge 4.4 olasılık, Çizelge 4.5 şiddet ve Çizelge 4.6 da keşfedilebilirlik için alınabilecek değerleri göstermektedir.

Çizelge 4.4 HTEA için olasılık çizelgesi

Hata Olasılığı	Olası Hata Oranları	Derece
Hemen hemen kesin	1/2'den fazla	10
Çok yüksek	1/3	9
Yüksek	1/8	8
	1/20	7
Orta	1/80	6
	1/400	5
	1/2.000	4
Düşük	1/15.000	3
Çok düşük	1/150.000 den küçük	2
Hemen Hemen olanaksız		1

Çizelge 4.5 HTEA için şiddet çizelgesi

Etki	Ölçüt	Derece
Tehlikeli	Emniyetle ilgili arıza. Hata bir ikaz olmadan meydana gelir.	10
Ciddi	Emniyetle ilgili, yasalarla uyumsuz bir arıza. Hata bir ikazla meydana gelir.	9
Çok büyük	Üretimin tümü hurdaya ayrılabilir. Müşteri büyük hoşnutsuzluk duyar.	8
Büyük	Ürün üzerinde büyük etki. Ürün kullanılmaz. Müşteri hoşnutsuzluk duyar.	7
Önemli	Parçanın yeniden işlenmesine neden olur. Ürün performans derecesi düşmüştür.	6
Orta	Ürün üzerinde orta şiddette etki. Müşteri ürünün kullanılmasında bazı rahatsızlıklar duyar.	5
Küçük	Ürün üzerinde küçük şiddette etki. Hata müşteri tarafından fark edilir.	4
Önemsiz	Ürün üzerinde önemsiz etki. Hata müşteri tarafından fark edilir.	3
Çok önemsiz	Ürün üzerinde önemsiz etki. Hata müşteri tarafından fark edilmez.	2
Etkisi yok	Ürün üzerinde hiçbir etkisi yok	1

Çizelge 4.6 HTEA için keşfedilebilirlik çizelgesi

Keşfetme	Ölçüt	Derece
İmkansız	Keşfetmeye imkan yok	10
Çok zor	Kontrollerin hata türünü belirlemesi çok zor	9
Zor	Kontrollerin hata türünü belirlemesi zor	8
Çok az	Kontrollerin hata türünü belirlemesi çok az	7
Az	Kontrollerin hata türünü belirlemesi az	6
Orta	Kontrollerin hata türünü belirlemesi orta	5
Orta üstü	Kontrollerin hata türünü belirlemesi ortanın üstü	4
Yüksek	Kontrollerin hata türünü belirlemesi yüksek	3
Çok yüksek	Kontrollerin hata türünü belirlemesi çok yüksek	2
Hemen hemen kesin	Kontrollerin hata türünü belirlemesi hemen hemen kesin	1

4.4.2 Risk Öncelik Sayısının Hesaplanması

RÖS'ün doğru hesaplanması hata türlerinin önceliklendirilebilmesi için çok önemlidir. Bu sebeple hesaplarda baz teşkil eden çizelgelerin gösterdikleri değerlerin tutarlılığı kadar analistlerin çizelgeleri doğru kullanması da RÖS'ün doğru hesaplanması için gereklidir.

RÖS'ün hesaplanmasında en çok kullanılan yöntem çarpma yöntemidir. Bu yöntemde, riski oluşturan üç etmeni ifade eden sayılar (çizelgelerden bulunan) çarpılır.

$$RÖS = O \times \text{Ş} \times K \quad (4.1)$$

Her bir hata türü için hesaplanan RÖS sayısı, o hatanın risk büyüklüğünü gösterir.

Geleneksel HTEA'nın bu önceliklendirme yönteminde, risk faktörlerinin görece (birbirlerine göre) önemlerinin dikkate alınmadığı açıktır. Zira (4.1) eşitliğindeki değişkenler RÖS içerisinde aynı etkinliğe sahiptirler.

4.5 HTEA'nın Yorumlanması

Bir hatanın yada problemin takibi 1 ile 10 arası skala kullanan çizelgelerle ve %95 güvenle hesaplanmış RÖS'ün 50'ye eşit yada 50'den büyük olduğu noktada başlar (Stamatis, 1995). Bu değer evrensel bir standart değildir. Kullanılan skalaya ve güven düzeyine göre farklılık gösterebilir. Zira eğer amaç bütün hataları takip etmekse, bunu için de bir sınırlama yoktur. Bu noktada sıralama her bir hata türü için RÖS sayısının büyüklüğüne göre belirlenir.

Başlangıç değeri herhangi bir istatistiksel güven değerine ve/veya skalaya göre değişebilir. Örneğin, Çok kritik bir sistem, süreç, tasarım yada servis için 1 ile 10 arasında skalaya sahip çizelge tercih edilsin ve güven düzeyi de yüzde 99 olarak belirlensin. Bu durumda RÖS'ün alabileceği en büyük değer 1000'dir (Olasılık=10, Şiddet=10 ve Keşfedilebilirlik=10). 1000'in yüzde 99'u 990'dır. 1000-990=10 olduğundan, hata takibi için başlama değeri 10 olarak belirlenir. Buradan, RÖS değeri 10'a eşit yada 10'dan büyük olan hatalar dikkate alınmalıdır sonucu çıkarılabilir.

1 ile 5 arası skala için de metot aynıdır. En büyük değer 1000 yerine 125 olur ve yüzde 90, 95 ve 99 güvenlik düzeyleri için başlangıç RÖS değerleri sırasıyla 13, 7 ve 2 olarak bulunur.

RÖS değeri hesaplandıktan sonra, risk tanımına göre değerlendirme başlar. Risk HTEA takımı tarafından genellikle küçük, orta, büyük ve kritik olarak belirlenir. Bunlar farklı durumları yansıtması için değiştirilebilir.

- Küçük risk altında, hiç bir düzeltici faaliyete gerek duyulmaz
- Orta risk altında, birkaç düzeltici faaliyet başlatılabilir.
- Yüksek risk altında, belirli düzeltici faaliyetler uygulanır.
- Kritik risk altında, belirli düzeltici faaliyetle uygulanır ve sistem, süreç, tasarım ve/veya serviste kapsamlı değişiklikler yapılır.

Eğer aynı RÖS'e sahip iki yada daha fazla hata varsa öncelik şiddeti büyük olana verilir. Daha sonra öncelik keşfedilebilirliği düşük (Keşfedilebilirlik katsayısı yüksek) olanındır.

RÖS hesaplamasında kullanılan risk faktörlerini büyüdükçe, onları ifade eden sayılar da büyür. Ancak keşfedilebilirlik için durum tam tersi şeklindedir. Keşfedilebilirlik arttıkça -ki bu istenen bir durumdur- onu ifade eden sayı küçülür.

4.6 HTEA Çalışması Tamamlandıktan Sonra Yapılacaklar

HTEA bir sürekli iyileştirme sürecidir. Dolayısıyla HTEA çalışmasının tamamlanmış olması işlerin bitmiş olduğu anlamına gelemmez. Zira 80'lerden sonra gelişen anlayışta, kalite çalışmaları hep bir çevrim şeklinde ifade bulmuştur. Bu noktadan hareketle HTEA'nın da sürekli olarak devam etmesi gerektiği görülmektedir. Aşağıda, yedi madde halinde, bir HTEA çalışmasının ardından yapılması gerekenler özetlenmiştir (Stamatis, 1995):

- 1) HTEA'nın gözden geçirilmesi: Fonksiyon, niyet ve hedeflerin örtüşüp örtüşmediğinden, tüm açık noktaların belirlenip, gerekli faaliyetlerin önerildiğinden yada uygulandığından emin olmak için HTEA tekrar incelenir. İnceleme sırasında şu sorulara cevap aranır.
 - Problem tanımları belirgin mi?
 - Bir hata nedeni, etkisi veya belirtisi tanımlandı mı?
 - Düzeltici faaliyet ölçülebilir mi?
 - Kullanılan terminoloji genel ve tutarlı mı?
- 2) Yüksek risk alanlarının işaretlenmesi: Şiddet ve RÖS kolonlarının görsel olarak incelenmesi yüksek risk alanlarını tanımlar. Şiddet kolonunda yüksek risk genellikle 7 veya daha büyük bir sayı değeriyle ifade bulur. RÖS kolonunda ise 100 veya daha büyük bir sayı (1 ile 10 arası skalada) yüksek riske işaret eder.
- 3) Kritik, önemli yada ana karakteristiklerin belirlenmesi: RÖS kolonun görsel olarak incelenmesi kritik, önemli ve ana karakteristiklerin görülmesini sağlar. RÖS değeriyle şiddet ve hata etkisi kolonu arasında direk korelasyon olduğundan emin olmak gerekir.
- 4) Bir kontrol planının varlığından emin olunması: Daha önce de belirtildiği gibi FMEA'nın amacı, bilinen yada olası hataları önlemek veya bu hataların olasılığını düşürmektir. Kontrol planı, ürün yada servisin müşteri tarafından cazip görülmesini sağlayacak değişikliklerin yapılabilmesi için uygulayıcıların kullandığı bir haritadır. HTEA servis yada sürecin hayati noktalarını göstermesine rağmen, kontrol planı bu hayati noktaları takip eder.
- 5) Yeterlilik çalışmalarının yürütülmesi: Kontrol planının oluşturulmasından ve istatistiksel proses kontrolünün başlatılmasından sonra proses ve tezgah yeterlilik çalışmaları yapılmalıdır.

- 6) C_{pk} 'si (proses performans derecesi) 1.33'e eşit veya 1.33'den daha küçük olan süreçler üzerinde çalışılması: Genel olarak yeterlilik en küçük derecesi 1.33 kabul edilmesine rağmen, bazı şirketlerin 1.67 değerini en küçük değer olarak kabul ettikleri unutulmamalıdır. Bu nokta değişkenliği yok ederek sürekli iyileşmeyi sağlamak için gereklidir.
- 7) C_{pk} 'si 1.33'den büyük olan süreçler üzerinde çalışılması: En küçük standarda ulaştıktan sonra, onu geçmek için çalışılmalıdır. Sonuçta, sürekli iyileştirme, yeterlilik hedefleri de dahil olmak üzere tüm standartları aşmaya çalışmayı gerektirir.



5. HATA TÜRÜ ve ETKİLERİNİN BULANIK KÜMELER YAKLAŞIMIYLA ANALİZİ

5.1 Bulanık Mantık

Her insan günlük hayatında kesin olarak bilinmeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen, ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşır. Bu durumların örgün (sistemik) bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir. Şimdiye kadar yapılan mühendislik araştırmalarında ve değişik çalışmalarda bulunulmuştur. Halbuki, büyük ölçeklerden küçük ölçeklere doğru geçildikçe incelenen olayların kesinlikten uzaklaşarak belirsizlikler içeren yönere doğru gitmeleri söz konusudur. Mesela, çok uzakta bulunan bir cisme bakıldığında bunun nokta şeklinde algılanması onun boyutsuz ve şekilsiz olduğu sonucuna varılmasına neden olur. Bu cisme yaklaşıldıkça, cisim bir boyutludan önce tepsi gibi iki daha sonra da küre gibi sanki üç boyutlu hale dönüşür. Böylece, boyutlar arasında kesin bir geçişten ziyade tedricen bir değişimin olduğuna akıl ile varılabilir.

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin ve düşünceden yoksunluk ve karar verilemeyişten kaynaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konularda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluşundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. İnsan tarafından geliştirilmiş olan bilgisayarlar, bu türlü belirsizlikleri işleyemezler ve çalışmaları için sayısal bilgiler gereklidir. Gerçek bir olayın kavranılması insan bilgisinin yetersizliği sebebiyle tam anlamıyla mümkün olmadığından, insan, düşünce sisteminde ve zihninde bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorumda bulunur. Bilgisayarlardan farklı olarak insanların yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık (fuzzy) kaynaklar adı verilir. Zadeh tarafından gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınır, çözümün daha da bulanık hale geleceği ifade edilmiştir. Çünkü çok fazla olan bilgi kaynaklarının tümünü insan aynı anda ve etkileşimli olarak kavrayamaz ve bunlardan kesin sonuçlar çıkaramaz. Burada bilgi kaynaklarının temel ve kesin bilgilere ilave olarak, özellikle sözel olan bilgileri de ihtiva ettiği vurgulanmalıdır. İnsan sözel düşünebildiğine ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiğine göre bu ifadelerin kesin olması beklenmez.

Bulanık ilkeler hakkında ilk bilgiler, Azerbaycan asıllı Lotfi Zadeh tarafından literatüre mal edilmesine karşılık, bu fikirler Batı dünyasında şüphe ile karşılanmış ve oldukça yoğun tenkit

almıştır. Ancak, 1970 yıllarından sonra Doğu dünyasında ve özellikle de Japonya'da bulanık mantık ve sistem kavramlarına önem verilmiştir. Bunların, teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde kullanılması bugün dünyada yaygın hale gelmiştir. Batıdaki gecikmenin ana sebebi Batı kültürünün temelinde ikili mantık, yani Aristo mantığının yatması ve olaylara evet-hayır, beyaz-siyah, kurak-sulak, 0-1 gibi ikili esasta yaklaşılmasıdır. Bu iki değer arasında başka seçeneklere kesin değil düşüncesi ile hiç yer verilemezdi. Batı'da bulanık kelimesi güvensizliği ifade eder. Doğu'da ise bu güvensizlikte bile güzelliklerin bulunabileceği düşüncesi vardır. Örneğin, insanların arasındaki gerekli diyalogun bile sağlanması bu tür bulanık(kesin olmayan, oldukça kişisel) görüşlere bağlıdır.

1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık küme, mantık ve sistem kavramları bu araştırmacının uzun yıllar boyunca kontrol alanında çalışmayı istediği kontrolü elde edebilmesi için fazlaca doğrusal olmayan denklemlerin işin içine girmesi, yöntemin karmaşıklaşması ve çözümün zorlaşması neticesinde ortaya çıkmıştır. Bulanık kavramının ortaya atılması ile beraber bilimsel çalışmalarda ve literatürde bazı enteresan durumlar ortaya çıkmıştır. Bazı araştırmacılar bulanıklık fikrini benimseyerek bu konuda çalışmalarını teşvik etmiş, ama büyük bir çoğunlukla da karşı görüşte olmuştur. Bu ikinci grup, fuzzification yani bulanıklaştırmanın kesin olmayan bilimsel ilkelere uymadığını ve hatta bilime karşı geldiğini ileriye sürmüştür. Özellikle, ihtimaller teorisi ve istatistik gibi zaten belirsizlikleri konu edilen daha da belirsiz bilim dalları bulunduğundan, bu konularda çalışan araştırmacılar, bulanık sistemlere açık bir biçimde karşı çıkmışlardır. Bulanık yöntemlerin yapacağı her türlü hesaplamanın, ihtimal ve istatistik hesaplamalarla yapılabileceğini ileriye sürmüşlerdir. Hatta, bu yöntemlerin bulanık sistemlerden çok daha iyi sonuçlar verdiğini iddia etmişlerdir. İlk ortaya atıldığı zaman bulanık sistemlerin doğrudan uygulaması olmadığından , yapılan tartışmalar daha ziyade felsefik seviyede kalmış ve bunun sonucunda daha kuvvetli felsefi ve teorik temelleri olan ihtimaller teorisi ve istatistik yöntemleri ağır basmıştır. Ancak, burada gözden kaçan basit bir nokta, sözel bilgilerin bulunması halinde istatistiğin fazlaca işe yaramadığıdır. Her ne kadar Bayesian teorisi gibi bir istatistik yöntem ile sözel bazı ifadelerin hesaplamalarda kullanılması mümkün ise de, bu yöntemlerin işleyişlerinde bazı temel kabuller (normal olarak dağılmış olmak, doğrusal olmak gibi) pratikte gerçekleşmemektedir (Şen, 2000). Bu sebeplerden, bulanık (fuzzy) sistemler dünyadaki hemen her araştırma merkezinde fazlaca rağbet görmemiştir. Özellikle de, Batı'da bu kavramlar nerede ise tamamen ihmal edilmiş, hoş karşılanmamıştır.

Bulanık kavram ve sistemlerin dünyanın değişik araştırma merkezlerinde dikkat kazanması 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile

olmuştur. Bu araştırmacılar ilk defa bir buhar makinesi kontrolünün bulanık sistem ile modellemesini başarmıştır. Bu ön çalışmadan, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar kolay ama sonuçlarının da ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır (Şen, 2000).

Daha sonraki yıllarda bulanık sistem uygulaması bir çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolü için yapılıncaya, artık bulanık kavramlar dünyanın birçok yerinde yavaş yavaş kullanılmaya başlanmıştır. Bu faaliyet, Batı'da çok yavaş olurken, Doğu'da ve özellikle Japonya, Singapur, Kore ve Malezya'da kendisini fazlaca göstermiştir. Müteakip yıllarda, bilhassa 1980'lerden sonra bulanık sistemin elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler, metro ve şirket işletimi gibi konularda bulanık mantık kullanımında fazlasıyla artış olmuştur. Son yıllarda, birçok mühendislik dallarında, veri tabanlarının sözelleştirilmesinde ve bir çok konularda kullanılır hale gelmiştir.

5.1.1 Belirsizlik ve Kesin Olmayış

Mantık, sistem, küme vb. için bulanıklık, belirsizliğin bir ifadesi olarak karşımıza çıkar. Geçmişte, belirsizliklerin işlenmesi ve anlamlı sonuçlara varılabilmesi için ihtimaller teorisi kullanılmıştır. Matematik ve mühendislikte bu teori belirsizlik durumlarında istatistik yöntemlerle beraber kullanılır. Bu nedenle de, bütün belirsizliklerin rasgele karakterde olduğu kavramı yaygınlaşmıştır. Rasgeleliğin en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol oynaması ve gerekli öngörülerin ve tahminlerin kesin bir doğrulukta önceden yapılamamasıdır. Ancak, bilinen belirsizliklerin hepsi rasgele karakterde değildir. Günlük hayatta karşılaşılan belirsizliklerin çoğunun rasgele olmadığı kolayca anlaşılabilir. Rasgele karakterde olmayan olaylar için... örneğin, sözel belirsizlikler halinde inceleme ve sonuç çıkarma işlemlerinde ihtimaller hesabı ve istatistik gibi sayısal belirsizlikleri gerektiren yöntem-bilimler kullanılmaz.

Etrafımızda ilginizi çeken birçok sorunu, sayısal bilgilerden ziyade, çok kere gördüğümüz, değer yargısı, takdir ve düşüncelerimizi sözel olarak ifade ederek inceler ve yorumlarız. Bu ifadelerin anlamlı olmaları ve başkalarına iletilebilmesi için mutlaka her insanın en az bir tane dile ihtiyacı vardır. Dil ne kadar kesin olmayan kelime ve cümleleri ihtiva etse bile, insanın iletişim kurmasında ve bilgi akışında en etkin olan bir vasıta. Dildeki belirsizliklere rağmen, insanoğlu onunla birbirini kolayca anlayabilmektedir. Örneğin "hava sıcak" denildiğinde herkes, kesin olarak hava kelimesinin anlamını anlamaktadır. Ancak, "sıcak" kelimesinin ifade ettiği anlam izafi olarak birbirinden farklı olabilir. Kutuplarda bulunan bir kişinin sıcak için 15 dereceyi anlamasına karşılık, ekvator civarındaki bir kişi için bu 35 dereceyi bulabilir. Arada birçok kişinin görüşü olarak başka dereceler de bulunur. Böylece

sıcak kelimesinin altında insanların da ima ettiği sayısal anlayışın bir sonucu olarak belirsiz bir durum vardır. Bu rastgele değildir, ancak belirsizdir ve bu şekilde kelimelerin ima ettikleri belirsizliklere fuzzy (bulanıklık) denir. Burada dikkat edilmesi gereken sıcak kelimesinin ne kadar fazla bir sayısal dereceler topluluğunu temsil ettiği bu topluluklara bulanık küme adı verilir. Bazı insanların sıcaklığı 15 derece bazıları ise 35 derece gibi oldukça farklı sayısal biçimde algılamasına karşılık bu insanlar arasında ihtilaf bulunmaz. Ancak Aristo mantığında kesin olarak sıcak veya soğuktan biri vardır. Böylece, bulanık mantığın sayılardan ziyade sözel kelimeleri esas aldığı anlamış olmaktadır.

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi..ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine ihtiyaç gösteren hallerdir. Bulanık mantıktan karmaşık da olsa, karşılaşılan her türlü sorunun çözülebileceği anlamı çıkarılmamalıdır.

Mühendislik modellemelerinde, kesinliğin kazanılmasına uğraşılması durumunda maliyetlerin artması ve zamanın uzaması söz konusudur. Ancak olayın bulanık ile incelenmesinde araştırmacı veya mühendisin her şeyden önce yapacağı çıkarımların belirli tolerans sınırları içinde kalmasına önceden karar vermesi gerekir.

5.1.2 Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri

Belirsizlik durumlarında en uygun metodoloji esasının küme elemanlarına değişik üyelik derecelerinin verilmesi ile olacağı Lotfi Zadeh tarafından 1965 yılında belirtilmiştir. Aristo mantığına göre insanlar boy bakımından ya uzundur veya değildir. Halbuki, Zadeh yaklaşımına göre uzun boyluluğun değişik dereceleri vardır. Uzun boylulardan bir tanesi gerçek uzun boylu olarak esas alınırsa ondan biraz daha uzun veya kısa olanlar uzun boylu değil diye dışlanamazlar. Esas alınan uzun boyluluğun altında ve üstündeki boylar o kadar kuvvetli olmasa bile, uzun boyluluğa ait olma derecesi biraz daha az olmakla beraber, yine de uzun boylular kümesine girmektedir. Böylelikle dünyadaki tüm insanlar kümesindeki insanların teker teker boy açısından birer uzunluk üyelik derecelerinin bulunduğunu söyleyebiliriz. Bunu biraz daha küçük ölçekte, Türkiye’de bulunan insanların “insan toplumu” kümesinin birer ögesi olduğu düşünülürse, bunların da ayrı ayrı uzun boyluluk açısından üyelik derecelerinin bulunduğunu söyleyebiliriz.

Aristo mantığına göre çalışan ve şimdiye kadar alışlagelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1’e, ait olmamaları

durumunda ise 0'a eşit var sayılmıştır. İkisi arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. Halbuki bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen, değişik üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Böylece daha şimdiden bulanık kümelerindeki öğelerin üyelik derecelerinin kesintisiz olarak 0 ile 1 arasında değerler aldığından söz edebiliriz. Aslında Zadeh küme öğelerinin üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini ileriye sürerek kümeler teorisinde geniş uygulamaya sahip ve doğal hayatla uyumlu olan bulanık kümeler kavramının özellikle 1980 yılı sonrasındaki teknoloji ve bilimsel çalışmalarda etkisi büyük olmuştur. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin her bir bulanık söz için üç temel özelliği sağlanması tanım olarak gerekmektedir. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- 1) Bulanık kümenin normal olmasıdır ki, bunun için en azından o kümede bulunan öğelerden bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip bulunması gerekliliğidir.
- 2) Bulanık kümenin monoton olması istenir ki, bunun anlamı üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır.
- 3) Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki, buna da bulanık kümenin simetrik özelliği adı verilir.

Klasik kümelerle bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi fonksiyonu bulunmasına karşın, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır.

Yukarıdaki açıklamalardan sonra, bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının mutlaka simetrik olması özelliğini sağlamanın gerekmediği şimdiden akılda tutulmalıdır.

5.1.3 Bulanık Sistem

İngilizce'de "fuzzy" kelimesine karşı gelen Türkçe'deki "bulanık" kelimesinin genel olarak puslu, dumanlı, kesinlikle ayırt edilemeyen, kesin olmayan, belirsiz, kafa karıştıran gibi bir dizi anlamı vardır. Bulanıklığın anlamı, bir araştırmacının incelediği konunun kendi tarafından tam kesinlikle bilinmemesi durumunda sahip olduğu eksik ve belirsiz bilgilerin tümüdür. Böylece araştırmacı, klasik analitik yöntemler ile dinamik ve korunum ilkelerinin elde ettiği denklemleri, verilerinde ve bilgilerinde belirsizlik yani bulanıklık bulunduğu için doğrudan kullanılamaz. Araştırmacının incelediği olay veya mekanizma sadece kesin kurallı,

çıkarımlarında kabul ve varsayımlar olan denklemler yerine, onların tamamlayıcısı olarak mevcut, onunla ilgili sözel ve oldukça belirsiz bilgiler de göz önünde tutularak modellenilebilir. Bulanık ilkelerin yardımı ile olayların incelenmesinde veri ve bilgi bakımından bir bulanıklık söz konusu ise de, bulanık yöntemlerin işleyişi tamamen belirgindir. Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep vardır. Bunlar şöyle ifade edilebilir:

- a) Gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olması dolayısı ile bu olayların belirgin denklemlerle tanımlanarak, kesin bir şekilde kontrol altına alınması mümkün olmaz. Bunun doğal sonucu olarak araştırmacı, kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere baş vurmaya her zaman tercih eder. O halde, yapılan bütün çalışmalarda çözümler bir dereceye kadar yaklaşıktır. Aksi takdirde, çok sayıda doğrusal olmayan denklemlerin aynı zamanlı olarak çözülmesi gerekir ki, bunun günümüz bilgilerine göre belirgin olmayan kaotik çözümlere yol açacağı bilinmektedir.
- b) Mühendislikte bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade eder. Birçok gerçek sistem doğrusal olmamasına, nonlineer olmasına rağmen bunların klasik yöntemlerle incelenmesinde doğrusallığı kabul etmek için her türlü gayret sarf edilir. Örneğin, mukavemet hesaplarında malzemenin gerilme altında şekil değiştirmesinin doğal olduğu, Hooke kanunu ile kesin bir ifadeyle kavuşturulmuştur. Halbuki, malzemenin her zaman bu şekilde davranması beklenemez ve bu sebeple küçük de olsa bazı sapmaların olması muhtemeldir. Zaten bunun doğal sonucu olarak, mukavemet boyutlandırmalarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklük hesaplara ithal edilerek, olabilecek belirsizlikler yine belirgin bir şekilde göz önünde tutulmuştur. Emniyet katsayısının kullanılması, bir bakıma, belirsizliklerin arka kapıdan çözümün içine katı bir şekilde sokulmasıdır. Halbuki, gerçek malzemenin davranışlarında emniyet katsayısı gibi bir büyüklüğe gerek kalmadan boyutlandırma yapılması için belirsizlik ilkelerine gerek duyulur.

Günümüzde bilgi ve bunun getirdiği sözel verilere önem verilmektedir. Bunun sebebi, insanların bir cihaz gibi sayısal değil de yaklaşık sözel verilerle konuşarak anlaşılmasıdır. Sözel insan verilerini, bir sistem içinde formüle ederek, cihazların verdiği sayısal bilgilerle beraber mühendislik sistemlerinde göz önünde tutmak gerekmektedir. Bulanık sistemlerin asıl işleyeceği konu bu tür bilgilerin bulunması halinde, çözümlenmeye gitmek için nasıl düşünüleceğidir. Aslında bulanık yöntemlerle bir sistemin modellenmesinde de yaklaşık ve oldukça kolay çözümlülük bulunur. Bu bakımdan bulanık sistemler teorik ve matematik aksiyomlu yaklaşımlardan bağımsız bir çözüm algoritmasını temsil eder. Bu bakımdan

bulanık küme, mantık ve sistem ilkeleri, uzman kişilerin de vereceği sözel bilgileri işleyerek toptan çözüme gitmeye yarar.

Bulanık sistemlerle ilgili örneklerden yaygın olanı, bir kişinin araba sürmesini öğrenmesinde ortaya çıkan sözel bilgilerdir. Sürücü adayına hız şu kadar km'ye varınca gaza şu kadar miktar bas demek yerine eğitim sırasında

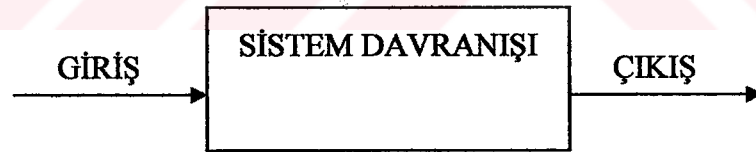
EĞER hız düşük **İSE** gaza fazlaca bas

Veya

EĞER hız yüksek **İSE** gaza az bas

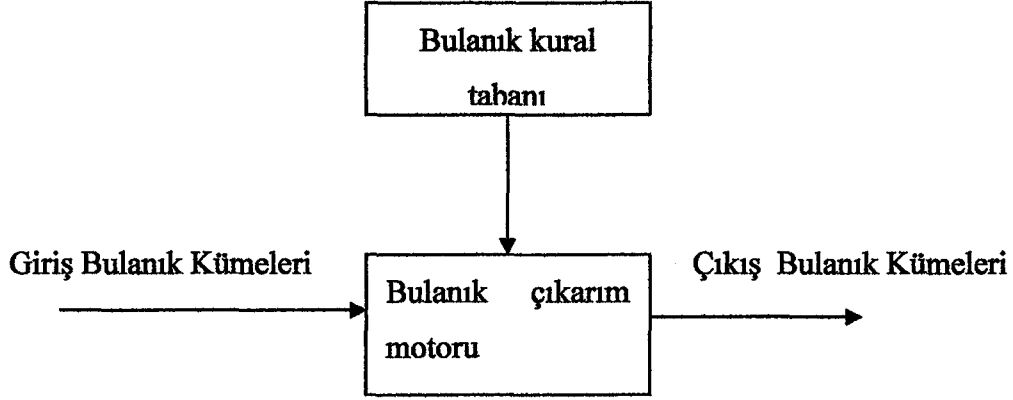
gibi kurallar söylenir. Bu kurallardaki düşük, fazlaca, yüksek ve az kelimeleri kişilerde ister istemez belirli bir aralıkta sayısal değerleri ima eder. İşte bu ima edilen değerler topluluğuna o kelimeyi temsil eden küme denir. Bu kümenin her ögesi aynı derecede önemli değildir. **EĞER-İSE** şeklinde kuralların **EĞER** ile **İSE** kelimeleri arasında kalan kısımlara **öncül kısım** ve **İSE** kelimesinden sonra olan kısma da **soncul kısım** veya **kural çıkarımı** adı verilir. Genel olarak, öncül kısımda olayla ilgili koşulları içeren deyişler vardır. Soncul kısım ise daha ziyade kontrol ile ilgilidir.

Şimdiye kadar öğrenilen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 5.1'de verilen üç ayrı birimden ibarettir.



Şekil 5.1 Klasik Sistem (Şen, 2001)

Bunlar; giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı denilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarıdır. Buradaki birimlerin hepsinde sayısal veri, çıkış veya işlemler yapılmaktadır. Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı, sistem davranışı kısmının ikiye ayrılarak şekil 5.2'de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.



Şekil 5.2 Genel Bulanık Sistem (Şen, 2001)

Burada bulunan birimlerin her birinden farklı, fakat birbiri ile ilişkili olabilen aşağıdaki görevleri vardır.

Genel bilgi tabanı birimi; incelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkında tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

Bulanık kural tabanı birimi, veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan, mantıksal **EĞER-İSE** türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm bulanık küme bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural bir veya daha fazla girdi uzayını bir çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamaların tümü kural tabanını oluşturur.

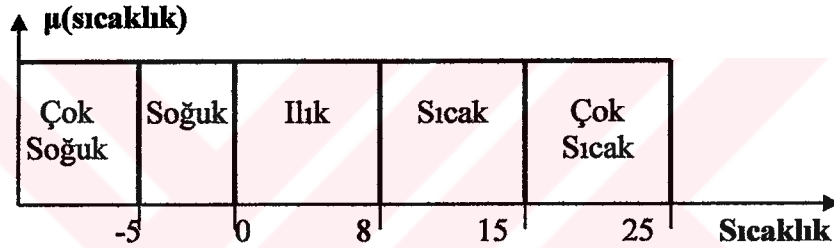
Bulanık çıkarım motoru birimi; bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak, sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

Çıktı birimi; bilgi ve bulanık kural tabanlarının, bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir.

Şekil 5.4 genel bir bulanık sistemi temsil eder. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta genel olarak veri tabanındaki bilgilerin ve çıktıların bulanık değerler olmasıdır. Yani şekil 5.4'deki sistemde, her birim tamamen Bulanık kümelerden oluşmaktadır. (Şen,2001).

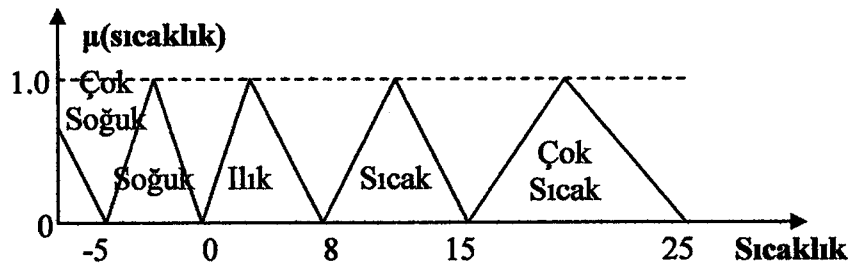
5.1.4 Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonu sayısal bir aralığın, bir kelime ile ifade edilen bir küme olan üyeliğini tarif eder. Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Mesela, İstanbul’da sıcaklık derecesinin değişim aralığının aşağı yukarı -5 dereceden $+35$ dereceye kadar olduğu söylenebilir. İşte bu aralık sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece tüm sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Ancak, günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür. Mesela, “çok soğuk”, “soğuk”, “ılık”, “sıcak”, “aşırı sıcak” gibi. Mesela çok soğüğün -5 derece ile 0 derece, soğüğün 0 derece ile 8 derece, ılığın 8 derece ile 15 derece, sıcaklığın 15 derece ile 25 derece, çok sıcaklığın 25 dereceden başladığı söylenebilir. Burada dikkat edilirse aralık tahminlerinde bulunmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Bitişik dikdörtgen gösterim

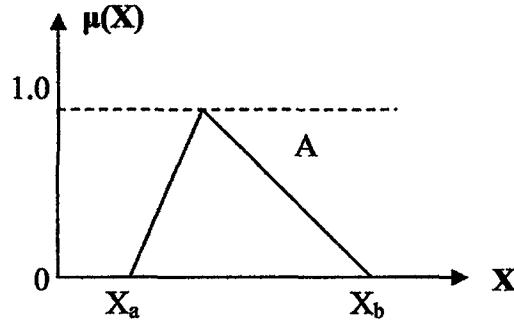
Bu aralıkların sınırlarında yine Aristo mantığına göre katı kararlar alınmalıdır. Örneğin, $7,9$ derecenin soğuk, $8,1$ derecenin ise ılık olduğuna karar verilir. Bu şekilde gösterim bakımından önemli bir nokta, her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin, sadece o aralıkta 1 'e, diğer aralıklarda ise 0 'a eşit olduğudur. Bu nedenle her sıcaklık alt kelimesinin üyelik fonksiyonu yüksekliği 1 'e eşit olan bir dikdörtgen şeklindedir.



Şekil 5.4 Bitişik üçgen gösterim

Şekil 5.4’de yukarıdaki tartışmanın bir doğal sonucu olarak en basit üçgen üyelik fonksiyonları bitişik olarak alınmıştır. Bu üçgenlerin de sıcaklık alt kümelerini tam

geometrik gösterime sürükler. Genel olarak, her alt aralığın ayrık üyelik fonksiyonu bu şekilde gösterildiği gibi olur. Bu fonksiyonların simetrik olması gerekmez. Böylece X_a ve X_b gibi alt ve üst sınırlara sahip X değişkeninin bu aralıktaki her değerine ayrı bir üyelik derecesi, $\mu(x)$ tayin edilmiş olur. Bu aralıktaki tüm X değerleri, o X değişkeninin bir alt kümesini teşkil eder.



Şekil 5.6 Bulanık küme

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Bun kümenin en önemli özellikleri, alt küme sınırlarındaki değerlerin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelere bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri verilirse, diğerlerinin 0 ile 1 arasındaki değişimin, her bir öğe için değerine, üyelik derecesi (μ), bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu ($\mu_A(x)$) adı verilir. Böylece, üyelik fonksiyonu şemsiyesi altında toplanan öğeler önem derecelerine göre birer üyelik derecesine sahiptir. X evrensel bir küme olsun. A kümesini tanımlayan üyelik fonksiyonu

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

şeklinde tanımlanır. Buna bağlı olarak da bulanık A kümesinin tanımı

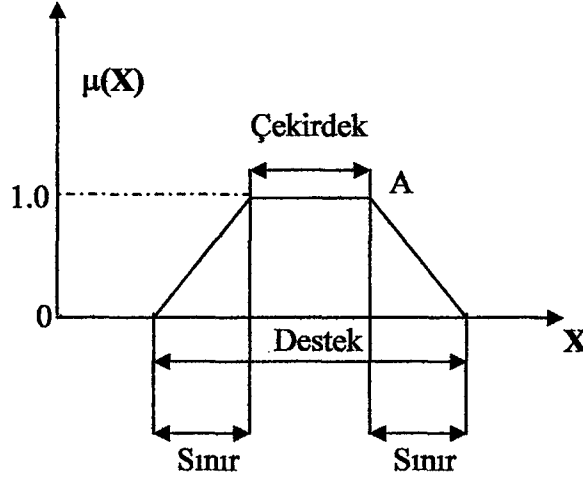
$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (5.2)$$

şeklinde dir.

Matematik kurallarına uygun olarak düzgün şekilli üyelik fonksiyonlarını şekil 5.6'da gösterilen üçgenden başka, yamuk veya çan eğrisi şeklinde de olabilir. Ancak pratik uygulamalarda bunlardan en fazla üçgen olanı kullanılır.

5.1.4.1 Üyelik Fonksiyonunun Kısımları

Her hangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun çekirdeği (Şekil 5.7), A kümesi içinde üyelik derecesi "1" eşit olan elemanların kümesidir.



Şekil 5.7 Bir Bulanık Kümenin Çekirdek, Destek ve Sınır Kısımları (Şen, 2000)

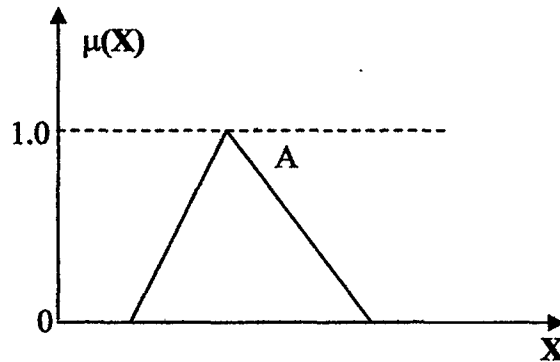
Her hangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun destek kısmı (Şekil 5.7), A kümesi içindeki sıfır olmayan üyelik değerlerini karakterize eden evrensel küme olarak tanımlanır ve

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

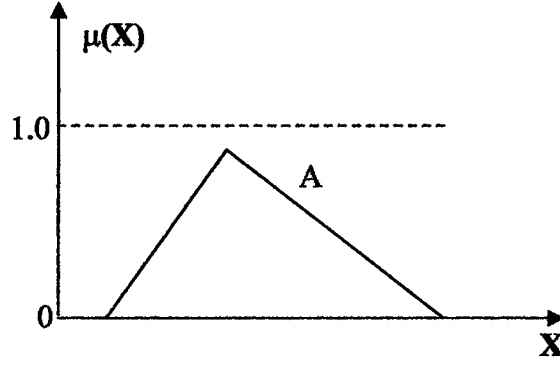
ile gösterilir.

Her hangi bir A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonunun sınırları (Şekil 5.7), A kümesi içindeki sıfır ve tam üye olmayan değerler ile karakterize edilen evrensel küme olarak tanımlanır. Bu küme içindeki X elemanlarının üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındadır.

Normal bulanık küme üyelik fonksiyonu üyelik değeri 1 olan en az bir tane x elemanına sahiptir (Şekil 5.8).

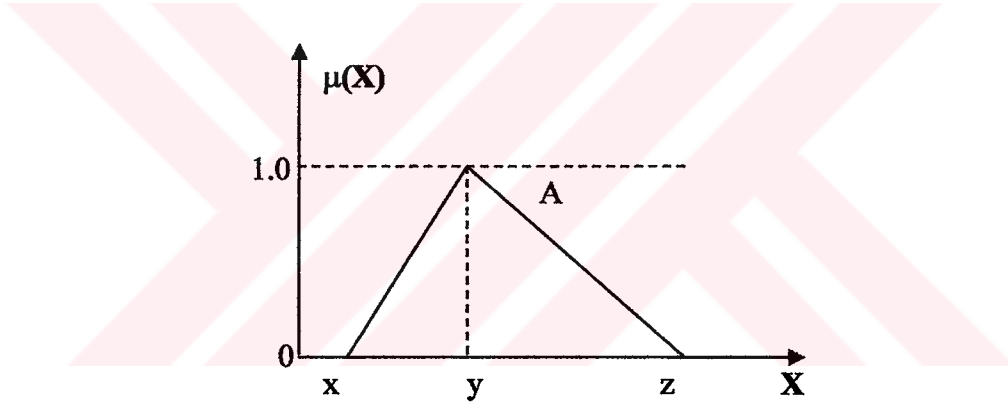


Şekil 5.8 Normal Bulanık Küme (Ross,1995)



Şekil 5.9 Subnormal Bulanık Küme (Ross,1995)

A bulanık kümesinin yüksekliği üyelik fonksiyonunun maksimum değeridir. $\text{Max}\{\mu_A(x)\}$ ile gösterilir. Eğer bu değer 1'den küçük ise bu bulanık küme subnormal bulanık kümedir (Şekil 5.9).



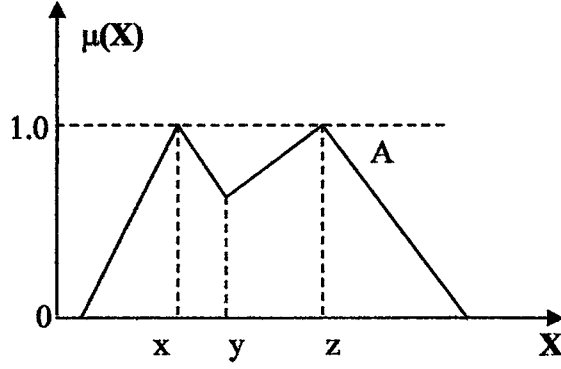
Şekil 5.10 Konveks normal Bulanık Küme (Ross, 1995)

Konveks bulanık küme, üyelik fonksiyonu monoton bir şekilde artan veya azalan, veya önce monoton bir şekilde artan sonra artan değerler ile monoton bir şekilde azalan kümeler olarak açıklanır. Bir başka deyişle, eğer, herhangi $x < y < z$ elemanları için;

$$\mu_A(y) \geq \text{Min} [\mu_A(x), \mu_A(z)] \quad (5.4)$$

(5.4) denklemi sağlanıyorsa bu bulanık küme, A, konveks bulanık kümedir (Şekil 5.10).

Her hangi iki konveks kümenin kesişimi de konveks bulanık kümedir. Üyelik fonksiyonunda üyelik değerleri 0,5 olan noktalar fonksiyonun cros-over noktaları olarak tanımlanır.



Şekil 5.11 Nonkonveks normal Bulanık Küme(Ross, 1995)

Eğer A tek noktada konveks normal bir bulanık küme olarak tanımlanırsa, A bir bulanık sayıyı ifade eden bir küme olur.

5.1.4.2 Üyelik Fonksiyonlarının (Bulanık Kümelerin) Temel Özellikleri

Bulanık kümeler, bir değer ve bu değerın üyelik derecesinden oluşan sayı çiftlerinde oluşurlar. Bu çiftler üzerinde işlem yaparken, bazı bulanık küme özellikleri kullanılır. Bulanık küme işlemlerinin klasik kümelerdeki farkı ise, üyelik fonksiyonlarının bahsedilen bulanık küme özellikleriyle işleme sokulmasıdır.

Daha önce de anlatıldığı gibi, bir üyelik fonksiyonu; belirli bir aralıktaki sayıların yada değerlerin, genellikle bulanık bir kelime ile ifade edilen bir kümeye üye olma durumlarını tarif eder. Bu üyelik durumunun bir fonksiyonla ifade edilmesinin nedeni, her hangi bir elemanın bir kümeye “tam olarak” ait olmak zorunda olmamasıdır. Klasik kümelerde böyle bir şey söz konusu değildir. Yani, bir bulanık kümenin elemanlarının üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında değerler alabilirken, klasik kümenin elemanları 0 yada 1 üyelik derecelerinden yalnızca birine sahip olabilirler.

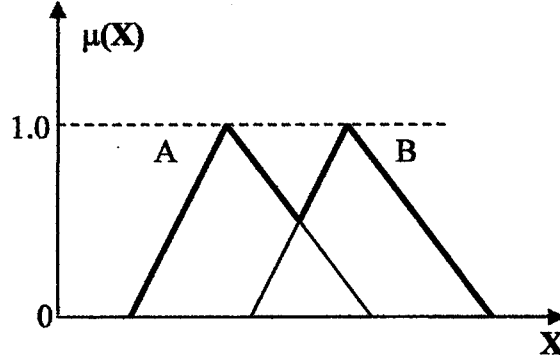
Bulanık kümelerin de, klasik kümelerdekine benzer özellikleri vardır. Bu özellikler genel olarak grafik gösterimleriyle açıklanmıştır. Bunun sebebi, uygulama çalışmasının da grafik yöntemle çözülecek olmasıdır.

5.1.4.2.1 Birleşme Özelliği

$A \cup B$ kümesinin $\mu_{A \cup B}(x)$ üyelik fonksiyonu, $x \in X$ 'in her değeri için aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (5.8)$$

Birleşme özelliği şekil 5.12’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Bulanık kümelerin birleşme özelliği

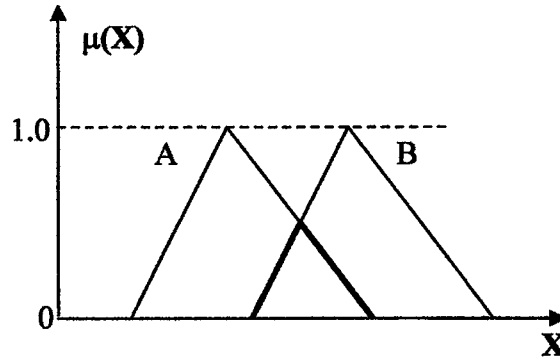
Örneğin; “uzun boylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümelerin birleşimi olan “uzun boylular VEYA şişmanlar” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle üyedir.

5.1.4.2.2 Kesişme Özelliği

$A \cap B$ kesişimin üyelik fonksiyonu $\mu_{A \cap B}(x)$ üyelik fonksiyonu, $x \in X$ ’in her değeri için aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (5.9)$$

Şekil 5.13’de (5.9) eşitliğinin grafik ifadesi gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Bulanık kümelerin kesişme özelliği

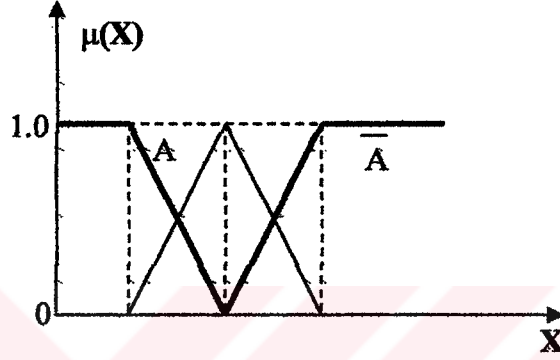
Birleşme özelliği için verilen örnek kesişme özelliği için şu şekilde düzenlenebilir; “uzun boylular” kümesine 0.5 üyelik derecesiyle, “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümelerin kesişimi olan “uzun boylular VE şişmanlar” kümesine 0.3 üyelik derecesiyle üyedir.

5.1.4.2.3 Evrik Alma Özelliği

Bulanık A kümesinin evriği $x \in X$ 'in her değeri için $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu türünden aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (5.10)$$

ifadenin grafiksel gösterimi şekil 5.14'te görülmektedir.



Şekil 5.14 Bulanık kümelerin evrik alma özelliği

Örneğin: “şişmanlar” kümesine de 0.3 üyelik derecesiyle üye olan bir kişi, bu kümenin evriği olan “şişman olmayanlar” kümesine 0.7 üyelik derecesiyle üyedir.

5.1.4.3 Standart Formlar ve Sınırlar

Yaygın olan üyelik fonksiyonu formları normal ve konveks olanlardır. Bununla birlikte bulanık kümeler üzerindeki bazı işlemler ve üyelik fonksiyonu üzerindeki işlemler subnormal ve nonkonveks fonksiyonlar ile sonuçlanır. Birleşim operatörünün hem subnormal hem nonkonveks bulanık kümeler üretmesi gibi.

Üyelik fonksiyonları simetrik veya asimetrik olabilirler. Bu fonksiyonlar tek boyutlu kümelere tanımlanmış, çok boyutlu kümelere de tanımlanabilirler. Burada gösterilen fonksiyonlarda tek boyutlu eğriler gösterilmektedir. İki boyutlu durumlarda da bu eğriler yüzeyleri, üç ve daha fazlası için ise hiper yüzeyleri gösterirler. Bu hiper yüzeyler veya eğriler, n-boyutlu uzay parametreleri ile $[0,1]$ aralığındaki üyelik değerleri arasındaki kombinasyonlardan oluşan basit biçimlerdir. Yine, bu üyelik değeri n-boyutlu uzaydaki parametrelerin spesifik kombinasyonlarının n-boyutlu bir evrensel kümede tanımlanan, belli bir bulanık küme içinde olan üyelik derecelerini gösterir. N-boyutlu küreler için olan hiper

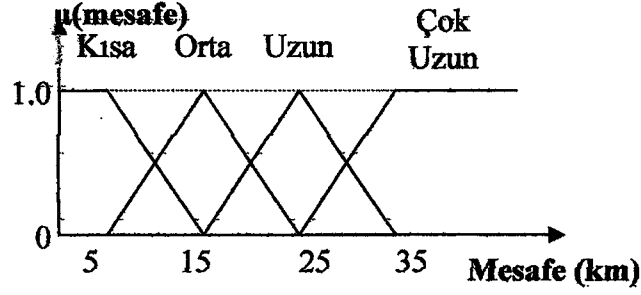
yüzeyler, birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonlarına benzerdir. Fakat, tabii ki, üyelik fonksiyonunun çizimi belli bir kümedeki üyelik içindir, frekansla veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile ilişkili değildir (Ross,1995).

5.1.4.4 Üyelik Derecesinin Belirlenmesi

İhtimaller hesabından bilineceği gibi rastgele bir değişkene değişik ihtimal yoğunluk fonksiyonları uydurulabileceği düşüncesine benzer olarak, bulanık kümeler daha da fazla şekilde üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından bile kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile, ilk yaklaşım olarak bu esaslara göre davranmaları faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemlerin tümü oldukça fazladır. Başlıcaları şöyle sıralanabilir (Şen, 2001):

- 1) Sezgi,
- 2) Çıkarım,
- 3) Mertebelendirme,
- 4) Açık bulanık kümeler,
- 5) Yapay sinir ağları,
- 6) Genetik algoritmalar,
- 7) Çıkarımcı muhakeme

Bunlardan sezgi fazla bir metodoloji bilgisi gerektirmemektedir. Zaten bu bölümün başlarında üyelik derecesi ve fonksiyonlarının sezgi ile elde edilmesi konusunda açıklamalar yapılmıştır. Burada kişinin kendi anlayış, görüş ve olaylara bakışı önemli rol oynar. Buna en basit örnek olarak herkesin, hemen her gün karşı karşıya kalarak görüş ileriye sürdüğü mesafe kelimesinin belirttiği belirsiz alt kümeleri düşünebiliriz. Bir insanın yürüyeceği günlük mesafe için en azından kısa, orta, uzun ve çok uzun gibi dört tane alt küme belirlenebilir. Bu alt kümelerin her biri şekil 5.12'de görüldüğü gibi belirli bir geometrik şekil ile temsil edilebilir.



Şekil 5.15 Mesafe bulanık alt kümeleri

Bu geometrik şekillerin konumları, doğal olarak, o yörede yaşayan kişilere göre değişir. Örneğin, kırsal kesimlerde yaşayan insanların anladığı kısa kavramı ile kentsel bölgelerde yaşayanlarınkı birbirinden oldukça farklıdır.

Çıkarım ile bulanık küme üyelik fonksiyonlarının bulunması için mutlaka incelenen olay hakkında bazı temel bilgilere sahip olmak gerekir. Burada, literatürde sıkça bilinen bir örnek üzerinde durularak izah yapılacaktır. Bir üçgenin A , B ve C iç açıları toplamı 180° dir. İşte bu bilgidен hareketle bir çıkarıma gidilebilir. Üçgenlerin yaklaşıklıkla eşkenar (E), ikizkenar (I), dik açılı (D), dik açılı eşkenar (DE) ve diğerleri ($Dİ$) gibi alt kümelere ayrılabilir. Bunların her biri, üçgenler kümesinin bulanık alt kümelerini temsil eder. Sıra bu alt kümelerin her birine birer üyelik fonksiyonu çıkarımlarının yapılmasına geldiğinde, bilinenlerden yararlanılarak bazı üyelik fonksiyonu çıkarımları yapılmasına gidilebilir. Mesela, bulanık bir ikizkenar üçgende $A \geq B \geq C \geq 0$ olmak üzere $A=B$ veya $C=B$ olması durumunda üyelik değerinin $\mu_I(X)=1$ olacağı düşünülerek üyelik fonksiyonu

$$\mu_I(A,B,C)=1-(1/60) \text{Min}(A-B,B-C) \quad (5.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. $A=120^\circ$, $B=60^\circ$ ve $C=0$ ise $\mu_I(X)=0$ olur. Halbuki bulanık bir dik üçgen için üyelik fonksiyonu

$$\mu_D(A,B,C)=1-(1/90)|A-90^\circ| \quad (5.6)$$

Şeklinde ifade edilir. Mesela $A=90^\circ$ için dik üçgenin üyelik derecesi $\mu_D(X)=1$ ve $A=180^\circ$ için ise $\mu_D(X)=0$ 'dır. Diğer taraftan yaklaşık ikizkenar ve dik üçgen için, bulanık ikizkenar üçgen ile bulanık dik üçgenlerin bileşimi olarak yukarıdaki iki üyelik fonksiyonundan en küçükleme (Min) ve en büyükleme (Max) işlemleri ile

$$\mu_{I \cup D}(A,B,C)=\text{Min} [\mu_I(A, B, C), \mu_D(A, B, C)] \quad (5.7)$$

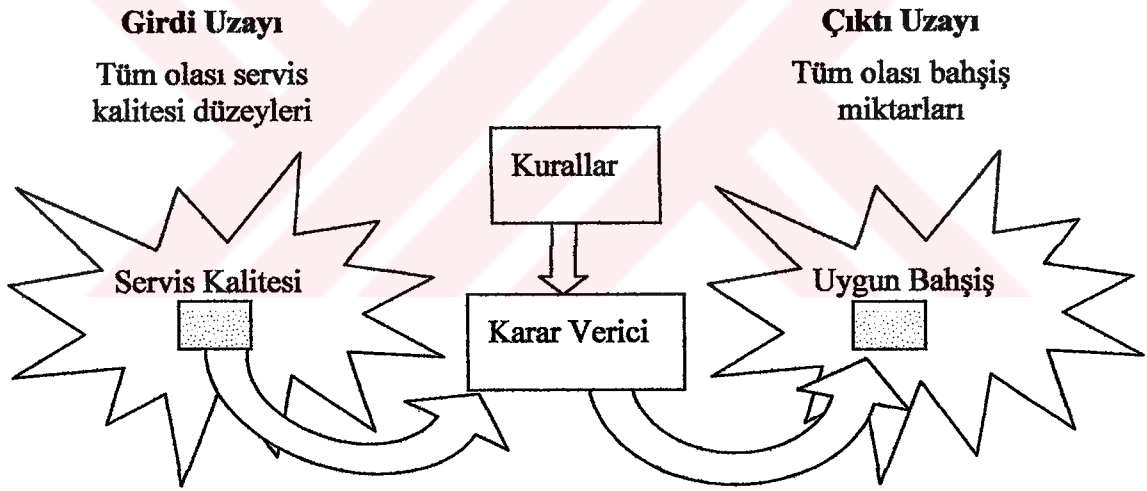
şeklinde ifade edilebilir (Ross, 1995).

Üyelik fonksiyonu tayininde mertebelenendirme yöntemi de kullanılır. Burada bir bulanık değişken hakkında anketler, soruşturmalar veya seçimler yapılarak üyelik derecelerinin tayinine çalışılır. Her zaman, verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır ve bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlemler yapılır.

5.1.5 Bulanık Kümelerde Kural Tabanı ve Çıkarım Süreci

Bulanık sistem teorisinin önemli bir katkısı bir bilgi tabanını doğrusal olmayan haritaya dönüştürme için sistematik bir metodoloji sağlamasıdır (Pillay ve Wang, 2003).

Yukarıda da kısaca bahsedildiği gibi; bulanık mantık, bir girdi uzayını, kural tabanı ve çıkarım motoru vasıtasıyla bir çıktı uzayına ulaştırır. Örnek olarak; bir restorandaki “servis kalitesine” göre “uygun bahşiş miktarı” kararı alınması verilebilir (Şekil 5.16) . İnsanlar bahşiş verecekleri zaman servisi çeşitli kriterlere göre ölçüp, bir bahşiş fonksiyonuna sokmazlar. Yapılan şey çok basittir. “EĞER servis kalitesi ‘çok iyi’ İSE ‘çok’ bahşiş ver” gibi birkaç tane kuralla konu açıklığa kavuşmuş olur.



Şekil 5.16 Bir girdi altkümünün bir çıktı altkümüne gitmesi (MathWorks, 1995)

Bulanık mantık temelde problemlere getirdiği bu kolay çözüm nedeniyle tercih edilir (MathWorks, 1995).

Yukarıdaki kurala bakıldığında daha önceden karar vericinin aklında tanımlanan, servis kalitesi değişkenine ait dilsel bulanık kümeler olduğu görülür. Bu kümeler “Çok iyi”, “Orta” ve “Zayıf” olsun, benzer şekilde bahşiş miktarı için bulanık kümeler ise “Az”, “Orta” ve “Çok” olsun.

Karar vericinin servis için “çok iyi” ifadesini kullanması, her hangi bir kuralı belirli bir çıktı kümesine götürmez. Zira, alınan servis kalitesinin “çok iyi” kümesindeki üyelik derecesi uygun bahşış miktarının “çok” kümesindeki üyeliğini verecektir. Dolayısıyla üyelik derecesinin hesaplanmasını sağlayacak bir kesin (crisp) veya bulanık (fuzzy) girdiye ihtiyaç vardır.

Böyle bir girdi sağlamak için servis kalitesinin 1-10 arasında puanlandığı varsayılabilir. Bir kabul de çıktı uzayı için yapılmalıdır. Bahşış miktarının en küçük değeri %0 ve en büyük değeri de %25 olsun.

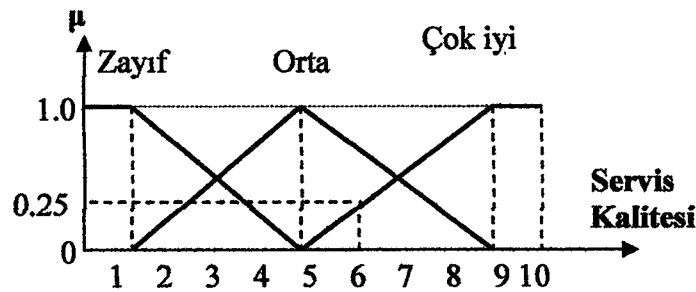
Yukarıdaki kabuller ışığında çıktı (bahşış miktarı) şu adımlar izlenerek oluşturulur.

- 1) Kesin (crisp) girdinin bulanıklaştırılması (Fuzzification)
- 2) Kural tabanı vasıtasıyla çıkarım (Inference)
- 3) Çıktının durulaştırılması (Defuzzification)

5.1.5.1 Bulanıklaştırma (Fuzzification)

Bulanıklaştırma, kesin olarak ifade edilen bir girdinin, bulanık bir küme içerisindeki üyeliğinin bulunmasıdır. Bu yolla, kesin olarak ifade edilen bir sayı bir bulanık kümenin belli bir oranda elemanı olur.

Servis kalitesine verilen 6 puanı, 0.25 üyelik derecesi ile “Çok iyi” kümesine üyedir (Şekil 5.17).

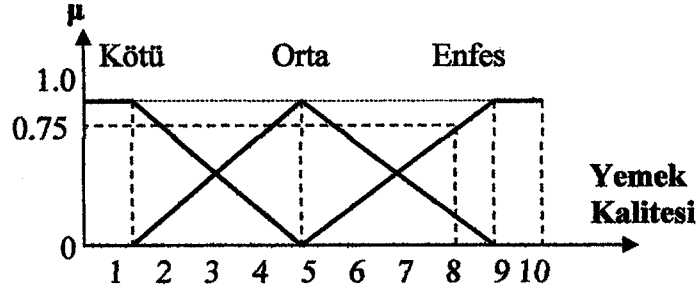


Şekil 5.17 Servis kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu

Bulanıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen değer 0.25'dir ve çıkarım için bu değer kullanılacaktır.

Bahşış örneğine, üyelik fonksiyonu şekil 5.18'de gösterildiği gibi olan yemek kalitesi değişkeni eklensin. Kural tabanı da düzenlenerek aşağıdaki şekle getirilebilir;

EĞER servis kalitesi ‘çok iyi’ **VEYA** yemek kalitesi ‘enfes’ **İSE** ‘çok’ bahşış ver.



Şekil 5.18 Yemek kalitesi değişkeninin üyelik fonksiyonu

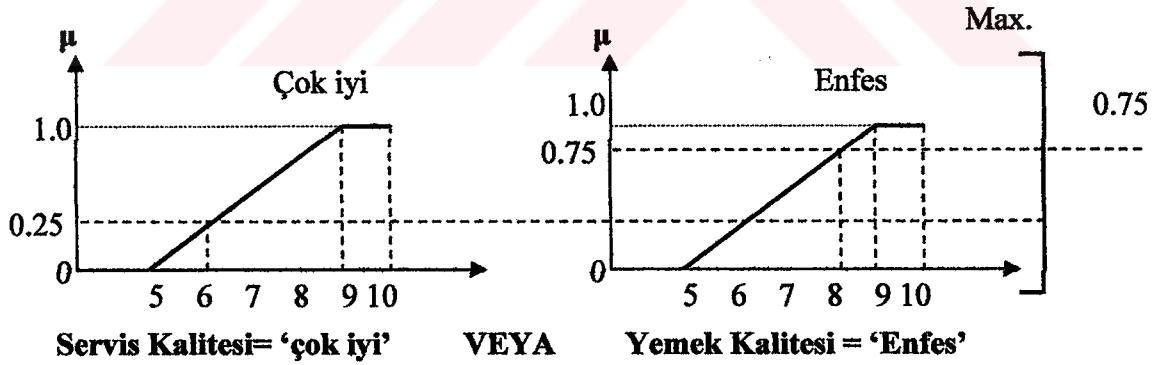
Yemek kalitesine verilen 8 puanı, 0.75 üyelik derecesi ile “Enfes” kümesine üyedir (Şekil 5.18).

Bulanık kümelerde kesişim işleminin, “ve” operatörüyle ifade edilebildiği ve bu ifadenin de matematiksel olarak “max” ile gösterildiği daha önce anlatılmıştı.

Öyleyse, kural tabanının öncül kısmı (EĞER ile İSE arası kısım) olan, “servis kalitesi ‘çok iyi (Çİ)’ VEYA yemek kalitesi ‘enfes(EN)’” ifadesi matematiksel olarak aşağıdaki gibi çözülür.

$$\mu_{\text{Çİ} \cap \text{EN}} = \text{Max}\{\mu_{\text{Çİ}}(6), \mu_{\text{EN}}(8)\} = \text{Max}\{0.25, 0.75\} = 0.75 \quad (5.8)$$

Bu ifade şekil 5.19’da grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.19 İki girdi değişkeninin bulanıklaştırılması

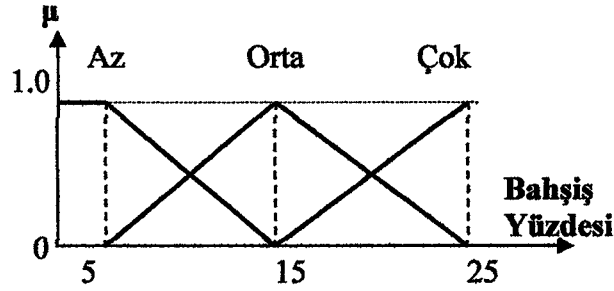
Bu işlem sonucunda elde edilen 0.75 değeri, kural tabanının soncul (İSE’den sonraki) kısmında verilen uzayı daraltan bir çıkarımda rol oynar.

Bulanıklaştırmanın girdisi her zaman kesin (crisp) olmayabilir. Girdinin bulanık (fuzzy) bir küme olduğu durumlarda, bulanıklaştırma işlemi, iki bulanık kümenin kesiştirilmesiyle yapılır. Daha sonraki işlemler tamamıyla aynıdır.

5.1.5.2 Çıkarım (Inference)

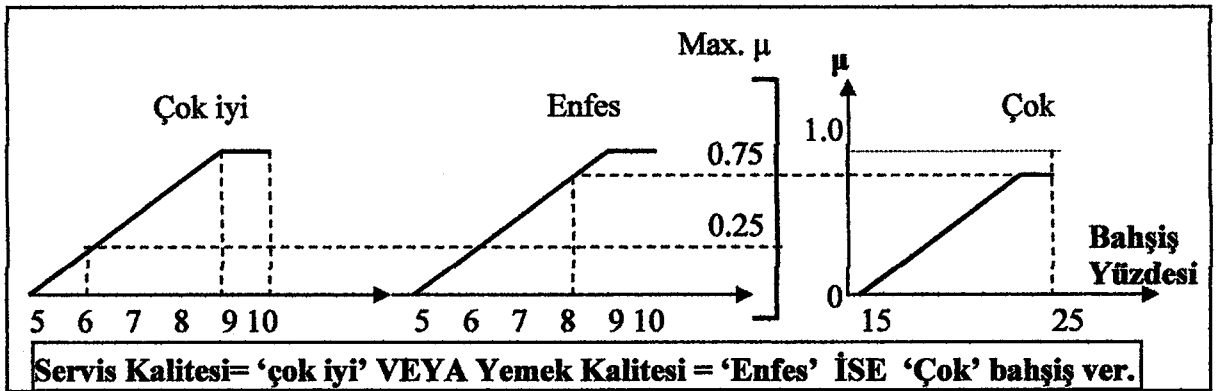
Çıkarım, bulanık bir girdi kümesinin kural tabanında belirtilen bulanık bir çıktı kümesine gitmesidir. Çıkarım sırasında kural tabanının öncül kısmında (Antecedent) bulanıklaştırma ile elde edilen üyelik değeri, soncul kısım (Consequent)'daki bulanık kümeye yansıtılır ve bir çıktı bulanık kümesi elde edilir.

Çıkarım kısmında bahşış miktarının da üyelik fonksiyonuna ihtiyaç vardır. Bahşış miktarının üyelik fonksiyonu şekil 5.20'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 Bahşış miktarı değişkeninin üyelik fonksiyonu

Aynı örnek devam ettirilirse, bulanıklaştırma sonucunda elde edilen 0.75 değerinin, kural tabanında belirtilen "çok" bahşış kümesine uygulanması gerekir. Değerin kümeye uygulanmasıyla, bahşış uzayı daralmaya uğrayacak ve uygun bahşış miktarının bulanık kümesini verecektir (Şekil 5.21). Kural sayısının birden fazla olması durumunda, her bir kuraldan elde edilen çıktıların bileşkesi, çıktı bulanık kümesini verir. Kesin bir çıktı değeri (Uygun bahşış oranı) ise durulaştırma işleminden sonra elde edilir.



Şekil 5.21 Bulanık çıkarım kümesi

5.1.5.3 Durulaştırma (Defuzzification)

Bulanık çıkarım kümesinden yola çıkarak kesin bir sayı elde etme işlemine durulaştırma denir. Durulaştırma işlemi için bir çok metot mevcuttur. Ancak bu metotlardan yedi tanesi son

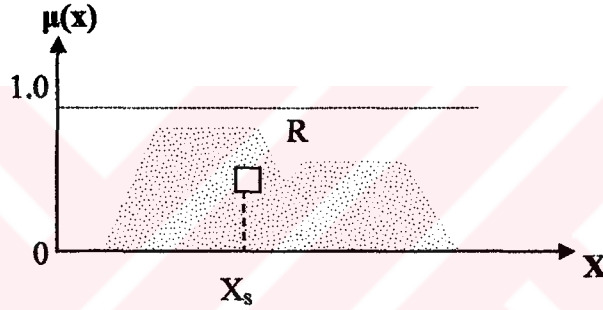
yıllarda araştırmacılar tarafından sıklıkla önerilmektedir (Ross, 1995). Bu çalışmada, uygulamalarda sıkça kullanılan bu metotlardan en çok kullanılan c tanesi özetlenmiştir.

5.1.5.4 Ağırlık Merkezi (Centroid) Yöntemi

Durulaştırma işlemleri arasında en yaygın kullanıma sahip olan yöntem Ağırlık Merkezi (Centroid) yöntemidir. Bu yöntemde bulanık çıktı kümesi (R)'nin ağırlık merkezinin iz düşümünde bulunan x_s değeri, kuralın kesin (crisp) ıktısı olarak kabul edilir. Anlatılanların matematiksel olarak ifadesi şöyledir (Ross,1995):

$$x_s = \frac{\int \mu_R(x) \cdot x dx}{\int \mu_R(x) dx} \quad (5.9)$$

şekil 5.22'de durulaştırmanın grafiksel gösterimi verilmiştir.



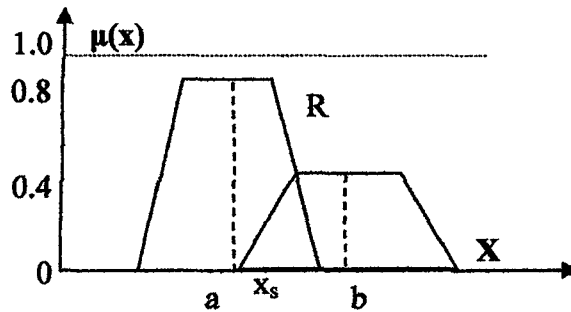
şekil 5.22 Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma

5.1.5.5 Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Bu yöntem üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu durumlarda kullanılır.

$$x_s = \frac{\sum \mu_R(\bar{x}) \cdot \bar{x}}{\sum \mu_R(\bar{x})} \quad (5.10)$$

Matematiksel ifadesi ile işlem (5.10) eşitliği şeklinde dir (Ross,1995). Grafiksel gösterim şekil 5.23'te verilmiştir.



şekil 5.23 Ağırlıklı ortalama yöntemiyle durulaştırma (şen,2001)

5.1.5.6 En Büyük Üyelik Derecesi

Bu yöntemle göre çıktının kesin değeri, en büyük üyeliğin olduğu noktadır. Tepesi sivri olmayan kümelerde ise, en yüksek üyeliğe sahip olan düzlüğün orta noktasının iz düşümü çıktının kesin değerini verir.

5.2 HTEA İçin Bulanık Kümeler Yaklaşımının Gerekliliği

5.2.1 Geleneksel HTEA'nın Eksikleri

HTEA, basit bir ürün veya karmaşık sistemlerin güvenilirliğini arttırmaya yönelik olarak bilinen veya olası hataları belirlemek ve uzaklaştırmak için kullanılan etkin bir tekniktir. Yine de bu teknik şu sorunları barındırmaktadır:

- 1) HTEA'da hata olaylarının olasılıklarını kesin olarak belirlemek zordur ve hatta imkansız da olabilir. HTEA'da kullanılan çoğu bilgi "neredeysel", "önemli" veya "çok yüksek" vb gibi dilsel (şifahi) yoldan ifade edilir. Ek olarak, çoğu bileşen veya sistemler zaman içerisinde bozulurlar ve çoklu durumlar alırlar. Bu durumların değerlendirilmesi genellikle öznel ve "performans bozulması", "güvenilirlik" ve "emniyet" terimleriyle doğal dilde nitel olarak ifade edilir. Geleneksel HTEA için bu dilsel değişkenleri değerlendirmek zordur (Xu vd., 2002).
- 2) Ciddi ölçüde tartışılan dezavantajlardan biri geleneksel HTEA'nın bir risk derecelendirmesi yapmak için kullandığı yöntemdir. Geleneksel HTEA, bir bileşen veya sürecin risk düzeyini değerlendirmek üzere RÖS kullanır. RÖS üç faktörün, yani hata olasılığı (O), hata şiddeti (Ş) ve hatanın keşfedilememe ihtimali (K), çarpımı bulunarak elde edilir.
 - Bu üç faktöre ilişkin sayıların çeşitli tablolardan elde edilebileceği daha önce belirtilmişti. Bu yöntem hesaplamayı basitleştirirse de, Pillay ve Wang (2003)'e göre, ihtimali bir başka puanlama sistemine dönüştürmenin, daha sonra da faktör puanlarının çarpımını bulmanın problemlere neden olduğuna inanılmaktadır.
 - Geleneksel HTEA'nın en ciddi ölçüde tartışılan bir diğer dezavantajı çeşitli O, Ş ve K kümelerinin aynı RÖS değerini üretebilmesidir. Örneğin, sırasıyla O, Ş ve K için 2, 3, 2 ve 4, 1, 3 değerlerine sahip iki farklı olayı düşünün. Bu iki olayın her biri toplam 12 RPN değerine sahip olur. Oysa risk öncelikleri farklı olabilir. Bu, bir kaynak ve zaman israfına veya bazı durumlarda yüksek riskli bir olayın fark edilmemesine yol açabilir.

- RÖS derecelendirme yönteminin diğer belirgin dezavantajı O, Ş ve K arasındaki görelî önemi ihmal etmesidir. Üç faktör aynı önemde varsayılmaktadır. HTEA sürecinin pratik uygulaması değerlendirildiğinde bu doğru olmayabilir.

Yukarıda maddeler halinde açıklanan eksiklikler, genel itibariyle, HTEA'ya girdi teşkil eden verilerin kesin olmayışından kaynaklanmaktadır. Bu kesinsizlik bir çok nedenden kaynaklanabilir. Örneğin, henüz kurulmamış bir süreçte, olası bir hata türünün, olasılığını tahmin etmek, uzmanlar için bile çok güçtür. Böyle bir durumda bir uzmanın yapabileceği iyi şey, yaklaşık bir değer vermek olabilir.

Bu çalışmada dezavantajları çözmek için bulanık kural tabanı kullanan bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda, HTEA'da belirlenen aynı RÖS değerlerine, ancak farklı risk derecelerine sahip olası nedenleri önceliklendirmek için bir bulanık kural tabanı kullanılır. Farklı disiplinlerden uzmanlar arasındaki bilgi paylaşımında rastlanabilecek potansiyel zorlukların üstesinden gelebilmek için bulanık uzman değerlendirmesi için bir platform önerilen sistemle birleştirilmiştir.

5.3 HTEA İçin Bulanık Kümeler Yaklaşımıyla Bir Model Önerisi

5.3.1 Çalışmanın Amacı

HTEA sürecinde, RÖS değerlerini belirlemek için gereken risk faktörlerinin olasılık değerleri genellikle hazır olarak bulunmaz. Böyle durumlarda, konuyla ilgili tecrübesi olanların (yada uzmanların) tahminleri kullanılır. Bu tahminler ise genellikle yaklaşık ifadeler olmaktadır (Boran, 1996). Bu çalışmada, bulanık kümeler yaklaşımıyla, bu ifadeleri sayısallaştırmak ve geleneksel HTEA'nın daha önce bahsedilen eksikliklerini gidermek amaçlanmıştır.

5.3.2 Modelin tanıtılması

Önerilen model ana hatlarıyla geleneksel HTEA'ya benzemektedir. Dolayısıyla geleneksel prosedürde bulunan, HTEA takımının kurulması, olası hata türlerinin, nedenlerinin ve etkilerinin belirlenip dokümanite edilmesi adımları önerilen modelde de mevcuttur. Farklılık risk önceliklerinin belirlenmesi noktasında ortaya çıkmaktadır.

Risk faktörleri olan olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değişkenleri için dilsel ifadelerle tanımlanmış bulanık kümeler oluşturulur. Bu bulanık kümeler, çalışmada, her bir değişken için "Düşük", "Orta" ve "Yüksek" şeklinde aynı adlarla oluşturulmuştur.

Risk derecesini ifade etmek için, RÖS yerine “Risk” kelimesi kullanılmaktadır. Risk değişkeni ise “Önemsiz”, “Küçük”, “Orta”, “Büyük” ve “Kritik” kelimeleriyle ifade edilmektedir.

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları uzmanlarca belirlenmektedir. Üyelik fonksiyonları her üç değişken için de 1 ile 10 arası bir skalaya yerleştirilmiştir.

Risk faktörlerinin alacakları her değerlerin her kombinasyonu için bir “Risk” değeri oluşmaktadır. Bu, bulanık kural tabanı oluşturulması ile mümkün olabilmektedir. 3 değere sahip olabilen 3 değişkenin tüm kombinasyonlarının sayısı 27’dir. Bu da kural tabanında 27 tane kural olacağını gösterir. Kurallar da uzmanlar tarafından oluşturulmaktadır. Ve kural sayısında azaltmaya gidilebilir.

Olası her bir hata türü için uzmanlar yaklaşık olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerleri verirler. Bu girdiler kural tabanı üzerinden bir risk çıktısı oluşturur. Bulanık olan bu çıktının durulaştırılması ile kesin risk değeri elde edilir.

5.3.3 Geliştirilen Model ve Modelin Hürsan Tekstil’de uygulanması

Geliştirilen model,

- Sistemin analizinin yapılması ve olası hata türleri, nedenleri ve etkilerinin belirlenmesi,
- Modelin girdilerini oluşturan üç risk faktörüne ait bulanık kümelerin oluşturulması
- Risk önceliklerinin belirlenmesi

olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

Ayrıca, modelin Hürsan Tekstil verileri üzerinde bir uygulaması yapılmıştır.

Hürsan Tekstil 1991 yılında kurulmuş olan ve Almanya, Hollanda, İngiltere, Fransa, Amerika, Kanada, İtalya, Belçika, Avustralya, Finlandiya gibi ülkelere ihracat yapan (%100 ihracat) bir tekstil kuruluşudur. 600 kişilik personele sahip olan Hürsan Tekstil’in fabrika yerleşim alanı 35000m²’dir. 2000 yılı ihracat hacmi ise 17 Milyon \$’dır.

5.3.3.1 Sistem Analizi

Hürsan Tekstil bünyesinde yapılan çalışmada hatalı kumaşlarla ilgili olarak “Hürsan hatalı kumaş numuneleri” belgesi oluşturulmuştur. Kolaylık olması açısından bu belgeden seçilen ve Çizelge 5.1’de gösterilen üç hata türü için model uygulanmıştır.

Çizelge 5.1 Sistem analizi sonuçları

Sıra no	Hata Türü	Hata Tanımı	Hata Nedeni	Hata Etkisi	Mevcut Kontroller
1	Atkı yığdırmaması	Enine iplik yoğunluğu	Sökülmesi gereken atkı ipliğinin sökülmemesi	Hoşnutsuzluk	Gözle Kontrol
2	Sakat		Kullanılmayacak derecede hatalı mal	Müşteride antipati oluşturur	Gözle Kontrol
3	Delik	Kumaşta delik	Mukavemetsiz iplik, aşınmış platinler, çözümden gelen düğüm, iğnelere pamuk gelmesi veya iğne kırılması sebepleriyle ipliğin kopması	Tatminsizlik	Gözle Kontrol

5.3.3.2 Girdilerin Belirlenmesi

Hem geleneksel HTEA'nın hem de bu çalışmada önerilen modelin üç temel girdisi olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerleridir. Bu üç faktörün bulanık metodoloji içerisinde değerlendirilebilmeleri için gereken üyelik fonksiyonları uzmanlar tarafından belirlenmiştir.

Üyelik fonksiyonu belirlemek için, uzmanların her birinden $x \in X$ olmak üzere 'x elemanı A (bir dilsel değişkenle ilgili bulanık küme) kümesine aittir' ifadesine 'doğru' yada 'yanlış' şeklinde cevap vermeleri istenmiştir. Eğer i. uzmanın cevabının $a_i(x)$ ile gösterildiği varsayılırsa, uzmanın 'doğru' yanıtı vermesi $a_i(x)=1$, 'yanlış' yanıtı vermesi $a_i(x)=0$ ile gösterilir. Ayrıca, i. uzmanın verdiği $a_i(x)$ cevabı uzmanın konuyla ilgili uzmanlık derecesini ifade eden c_i katsayısıyla çarpılır. Bütün yanıtların ağırlıklı ortalaması alınarak ilgili dilsel terim (A) için üyelik derecesi hesaplanır. n toplam uzman sayısı olmak üzere, bu ifade matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

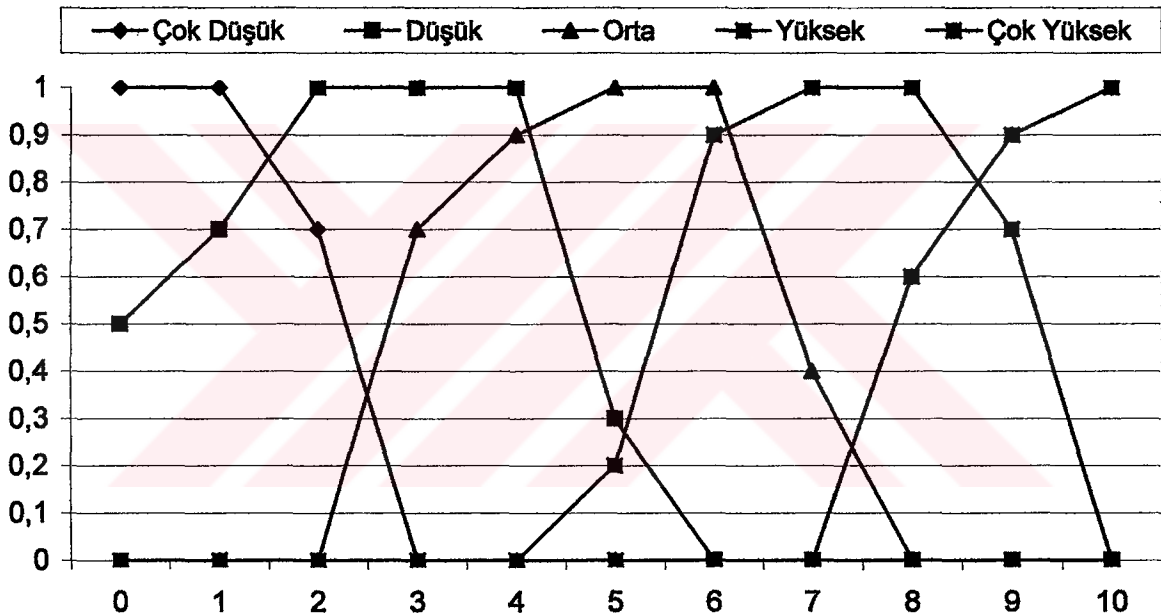
$$\sum_{i=1}^n c_i = 1 \quad (5.11)$$

olmak üzere;

$$\mu(x) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot a_i(x) \quad (5.12)$$

i. uzmanın uzmanlık katsayısı (c_i) da, uzmanların aralarında belirlediği bir sabittir ve c_i 'lerin toplamı 1 olmalıdır.

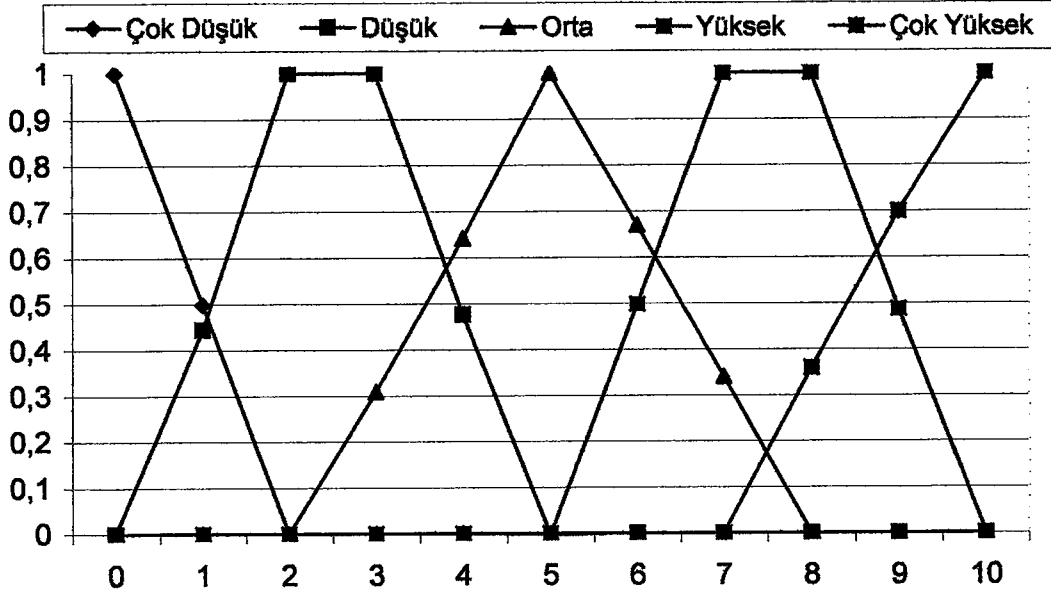
(5.12) eşitliği kullanılarak oluşturulan olasılık üyelik fonksiyonu şekil 5.24'te gösterilmektedir. Uzmanların verdikleri yanıtlar EK1'de verilmiştir. Olasılık değişkeni; 1-10 arası bir skalada, "Çok düşük", "Düşük", "Orta", "Yüksek", "Çok yüksek" dilsel ifadeleriyle tanımlanmıştır. Diğer girdiler de (Şiddet, keşfedilebilirlik) aynı skala ve dilsel ifadeler ile tanımlanacaktır. Ayrıca çıktı kümesi olan "Risk" in de 1-10 skalası üzerinde aynı dilsel ifadelerle belirlenmiş olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 5.24 Olasılık (Şiddet ve Keşfedilebilirlik için de) üyelik fonksiyonu

Genel olarak bulanık mantık uygulamalarında üçgen bulanık kümeler tercih edilir. Üçgen bulanık kümeler durulaştırma işleminde kolaylık sağlar. Ayrıca trapez (yamuk) üyelik fonksiyonları da geçiş düzgünlüğü ve durulaşma kolaylığı gösterirler. Bu incelemedeki uzmanlar dengeli bir bulanık kural tabanı sağlamak için seçilmediği için ulaşılan fonksiyon da pek düzgün oluşmamıştır.

Bu sebeple Şekil 5.24'te görülen üyelik fonksiyonunun, özü sabit kalmak kaydıyla, üzerinde küçük değişiklikler yapılarak şekil 5.25 elde edilmiştir. Uygulama bu son üyelik fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilecektir.



Şekil 5.25 Düzeltilmiş üyelik fonksiyonu

Uygulama için 5 uzman ile çalışılmıştır. Uzmanların konuyla ilgili, c, uzmanlık katsayıları çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Uzmanlar ve uzmanlık katsayıları

Uzman	Uzmanlık Katsayısı (c)
Uzman 1	0,1
Uzman 2	0,3
Uzman 3	0,1
Uzman 4	0,2
Uzman 5	0,3

5.3.3.3 Kural Tabanlarının Oluşturulması

Her biri değişkene ait 5 tane bulanık küme olduğu için, toplam kural sayısı 125 tane olmaktadır. Kurallar değişkenlerin her bir kombinasyonu için uzmanlar tarafından belirlenir. (5.12) eşitliği burada da kullanılabilir. Bu çalışmada uzmanlar tartışarak, kurallar üzerinde anlaşmaya varmışlardır. Ayrıca “keşfedilebilirlik” ifadesi geleneksel HTEA’daki gibi keşfedilememe durumunu temsil etmektedir. Dolayısıyla, kurallar içerisinde bu ifade “keşfedilmezlik” şeklinde yer alacaktır.

Kural sayısı, değişkenlerin tüm kombinasyonlarının sayısına eşittir. Ancak kurallar birleştirilerek, kural sayısının azaltılması da mümkündür. Örneğin, şu iki kural:

Kural 1: EĞER Olasılık Orta, şiddet Düşük ve keşfedilebilirlik Yüksek İSE risk Orta'dır.

Kural 2: EĞER Olasılık Yüksek, şiddet Düşük ve keşfedilebilirlik Orta İSE risk Orta'dır.

“Olasılık ile keşfedilebilirlik değişkenlerinin aynı öneme sahip kabul edilirse, şiddet değerinin Düşük olmak koşuluyla, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri Yüksek ve Orta (hangisinde olduğu önemsiz) ise risk Orta'dır” şeklinde birleştirilebilir.

Kurallar içinde tüm faktörler VE ile bağlanmıştır. Bulanık çıkarım yapılırken bu sebeple faktörler için de “min.” operatörü kullanılarak çıktı kümesi daraltılacaktır.

Bu şekilde oluşturulan kurallardan birkaç tanesi çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Uygulama için oluşturulan kurallar

Kural No:	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	Risk
1	Düşük	Çok Düşük	Düşük	Çok Düşük
2	Düşük	Çok Düşük	Orta	Çok Düşük
3	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
4	Düşük	Düşük	Orta	Düşük
5	Düşük	Orta	Düşük	Düşük
6	Düşük	Orta	Orta	Orta
7	Orta	Çok düşük	Orta	Düşük
8	Orta	Düşük	Orta	Orta
9	Orta	Orta	Orta	Orta

5.3.3.4 Risklerin Belirlenmesi

Uygulamanın bu kısmı uzmanlardan belirli bir hata türü için olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerleri alınması ile gerçekleştirilir. Uzmanlar belirli bir hata türünün her bir risk faktörü için; x, 1-10 skalasında bir sayı olmak üzere, “yaklaşık x”, “neredeysse x” şeklinde fikir beyan ederler.

Yaklaşık x: Üyelik derecesi x noktasında 1 olan, alt sınırı x-2 ve üst sınırı x+2 noktasında olan bulanık kümesi

Neredeyse x: Üyelik derecesi x noktasında 1 olan, alt sınırı x-1 ve üst sınırı x+1 noktasında olan bulanık kümeyi,

Bu tanımlamalar uzmanlar tarafından kabul edilmiş ifadelerdir. Bu tanımlardan hiç birini kullanmak istemeyen uzmanlar ise, her bir hata türünün her bir risk faktörü için bir alt sınır, bir üst sınır, bir de destek değeri beyan etmişlerdir.

Ulaşılmak istenen girdi bulanık kümesi, uzmanların verdikleri cevapların ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır. Buradan hareketle;

U_i : i. uzmanın verdiği üst sınır değeri

L_i : i. uzmanın verdiği alt sınır değeri

D_i : i. uzmanın verdiği çekirdek değeri

olmak üzere, üst sınır değeri, alt sınır değeri ve çekirdek değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U = \sum_{i=1}^n c_i U_i \quad (5.13)$$

$$L = \sum_{i=1}^n c_i L_i \quad (5.14)$$

$$D = \sum_{i=1}^n c_i D_i \quad (5.15)$$

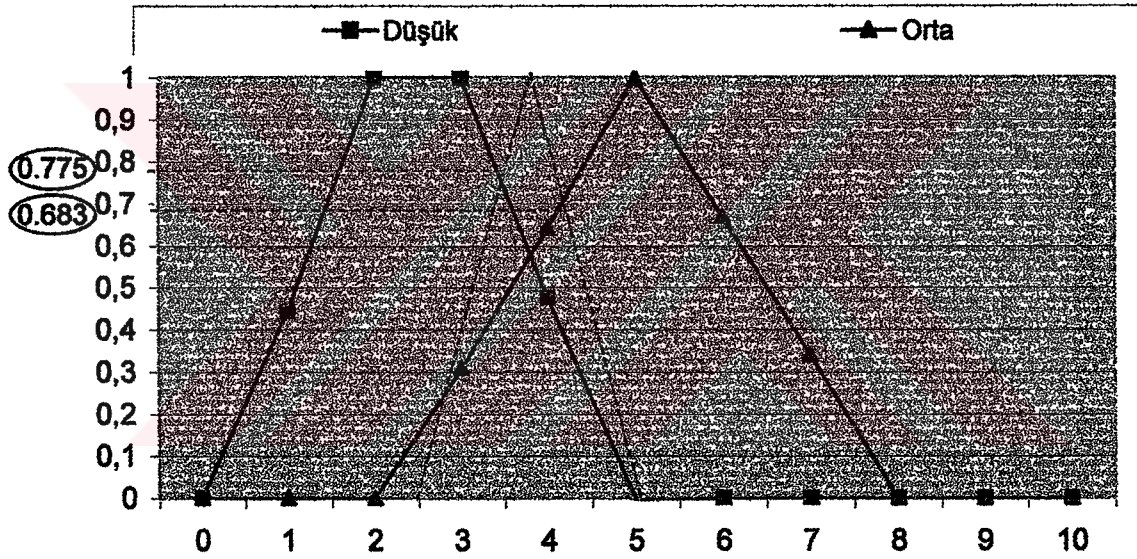
HATA 1 (atki yığdırması) için uzmanların verdikleri olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerleri çizelge 5.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.4 HATA1 için uzmanlardan toplanan risk faktörü değerleri

Uzmanlar	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	Olasılık (L,D,U)	Şiddet (L,D,U)	Keşf. (L,D,U)
Uzman 1	Yaklaşık 4	Neredeyse 2	Yaklaşık 4	(2,4,5)	(1,2,3)	(2,4,5)
Uzman 2	Neredeyse 4	Yaklaşık 3	Neredeyse 4	(3,4,5)	(1,3,5)	(3,4,5)
Uzman 3	Yaklaşık 3	Neredeyse 2	Yaklaşık 3	(1,3,5)	(1,2,3)	(1,3,5)
Uzman 4	Neredeyse 3	Neredeyse 1	Neredeyse 3	(2,3,4)	(0,1,2)	(2,3,4)
Uzman 5	Neredeyse 4	Neredeyse 2	4 civarında	(3,4,5)	(1,2,3)	(3,4,5)

Yukarıdaki tabloda parantez içindeki değerler sırasıyla Alt sınır, Destek ve Üst sınır'dır. Çizelge 5.4'deki değerler (5.13), (5.14), (5.15) eşitliklerine uygulandığında, HATA 1 için olasılık bulanık kümesi (2.5, 3.7, 4.8), alt sınır, destek ve üst sınır değerleriyle ifade edilen bir üçgen olarak bulunur (Şekil 5.26). Aynı hesaplamalarla, şiddet bulanık kümesi (0.8, 2.1, 3.4) ve Keşfedilebilirlik bulanık kümesi (2.5, 3.7, 4.8) değerleriyle ifade edilir Şekil 5.27 ve şekil 5.28.

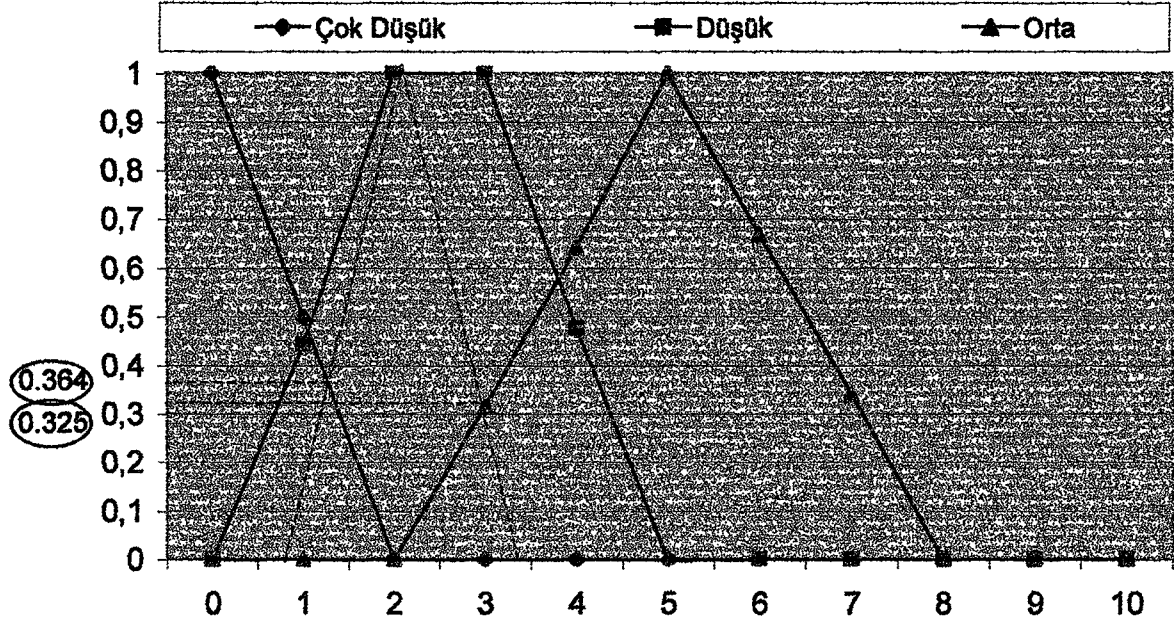
Bu değerlerin şekil 5.25'te gösterilen düzeltilmiş üyelik fonksiyonu grafiği üzerine ayrı ayrı yerleştirilmesiyle her birine ait üyelik değerleri elde edilebilir. Bu değerlerin tek bir noktadan ziyade bir alan göstermeleri sebebiyle; üyelik değerleri, grafikteki üyelik fonksiyonlarıyla girdi bulanık kümelerinin kesişim noktalarından tayin edilir. Bu durum HATA 1'in olasılık risk faktörüne ilişkin olarak şekil 5.26'da gösterilmiştir.



Şekil 5.26 HATA 1'e ait olasılık girdi kümesinin üyelik derecesinin tayini

Şekil 5.26'dan da görüldüğü gibi HATA 1'e ait girdi olasılık kümesi düşük ve orta bulanık kümeleriyle kesişmektedir. Basit geometrik hesaplarla bu kesişim noktalarının üyelik değerleri 0.775 ve 0.683 olarak bulunur. Bu sebeple, "HATA 1'in olasılığı 0.775 üyelik derecesiyle Düşük ve 0.683 üyelik derecesiyle de Orta'dır" denilebilir.

Aynı işlemler şiddet için yapılırsa; şiddet girdi bulanık kümesinin 0.325 üyelik derecesi ile Orta, 1.0 üyelik derecesi ile Düşük ve 0.364 üyelik derecesi ile Çok düşük kümesinin elemanı sayılabileceği görülür (Şekil 5.27).



Şekil 5.27 HATA 1'e ait şiddet girdi kümesinin üyelik derecesinin tayini

Benzer şekilde, HATA1'e ait keşfedilebilirlik girdi bulanık kümesi, olasılık bulanık kümesiyle aynı değerde olup, 0.775 üyelik derecesiyle Düşük ve 0.683 üyelik derecesiyle de Orta'dır.

Görüldüğü gibi, olasılık değişkeni için 2 (Düşük, Orta), şiddet değişkeni için 3 (Çok düşük, Düşük, Orta) ve keşfedilebilirlik değişkeni için 2 (Düşük, Orta) tane bulanık küme üyeliği tayin edilmiştir. Dolayısıyla, HATA 1'e ait kural sayısı 12 dir. Bu sebeple 125 kural içinden 12 tanesi 1 numaralı hatanın risk değerini belirlemek için yeterli olacaktır. Ancak kurallar incelendiğinde (olasılık ve keşfedilebilirlik faktörlerinin önemi aynı kabul edilmek şartıyla), bir biriyle aynı olduğu görülür. Böylelikle gerekli kural sayısı 9'a iner. Bu kurallar çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Aşağıda, HATA 1'e ait risk değerinin saptanmasında kural tabanının kullanılması gösterilmiştir. Öncelikle KURAL 1 kural ele alınsın.

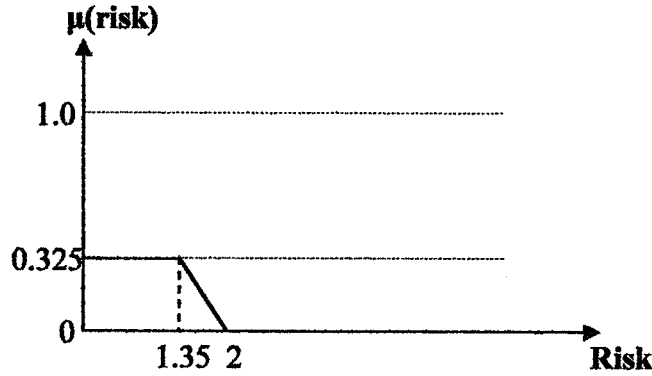
KURAL 1: EĞER olasılık Düşük, şiddet Çok düşük VE keşfedilebilirlik Düşük İSE risk Çok düşüktür.

Kuralın EĞER-İSE arasında kalan öncül kısmından elde edilecek üyelik değeri, soncul kısımdaki "Çok düşük" kümesinin hangi noktadan kesileceğini gösterecektir. 1 numaralı hata türünün olasılık değerinin 0.775 ile Düşük, şiddet değerinin 0.325 ile Çok düşük ve keşfedilebilirlik değerinin de 0.775 ile Düşük olduğu hatırlanırsa; Öncül kısım;

$$\mu = \text{Min}(0.775, 0.325, 0.775) = 0.325$$

(5.16)

şeklinde hesaplanır. Buradan, 1 numaralı kurala ait çıktı bulanık kümesi şekil 5.28'deki gibi oluşur.



Şekil 5.28 KURAL 1'e ait çıktı bulanık kümesi

KURAL 1'e ait çıktı bulanık kümesi bulunduktan sonra KURAL 2'ye geçilir.

KURAL 2: EĞER olasılık Düşük, şiddet Çok düşük VE keşfedilebilirlik Orta İSE risk Çok düşüktür.

HATA 1'in olasılık değerinin 0.775 ile Düşük, şiddet değerinin 0.325 ile Çok düşük ve keşfedilebilirlik değerinin de 0.683 ile Düşük olduğu hatırlanırsa;

$$\mu = \text{Min}(0.775, 0.325, 0.683) = 0.325 \quad (5.17)$$

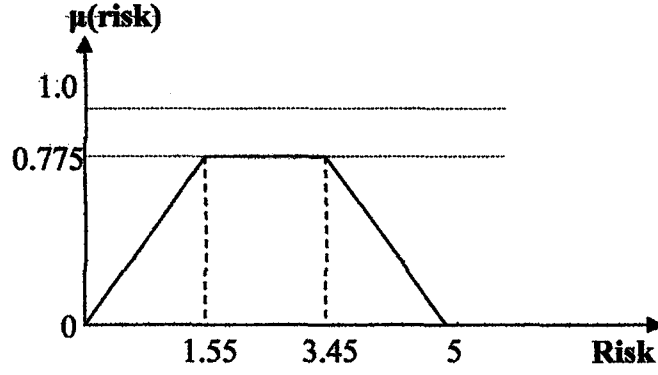
olarak bulunur. Çıktı bulanık kümesi, Çok düşük kümesinin 0.325 üyelik değerinden kesilmiş halidir. Bu küme de KURAL 1'in çıktısıyla aynıdır (Şekil 5.28). Çıktı kümeleri grafiksel olarak çakışmaktadır.

Bu iki kuraldan şu sonuç çıkarılır: Soncul kısımları aynı olan kurallardan, öncül kısımdan elde edilen üyelik derecesi en büyük (max) olan kural diğer kuralları da temsil eder.

Soncul kısımları aynı ve Düşük olan 3, 4, 5 ve 7 numaralı kurallar beraberce ele alınır, çıktı bulanık kümesi olan Düşük'ün kesime uğrayacağı nokta;

$$\mu = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{Min}(0.775, 0.364, 0.775) \\ \text{Min}(0.775, 1.0, 0.775) \\ \text{Min}(0.775, 1.0, 0.683) \\ \text{Min}(0.683, 0.325, 0.683) \end{array} \right\} = 0.775 \quad (5.18)$$

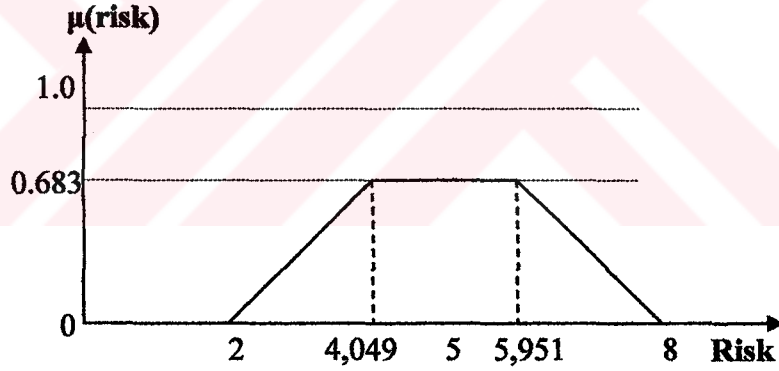
olarak bulunur. Söz konusu üç kuralı temsil eden çıktı bulanık kümesinin grafiksel ifadesi şekil 5.29'da gösterilmiştir.



Şekil 5.29 KURAL 3, KURAL 4 ve KURAL 7'ye ait çıktı bulanık kümesi

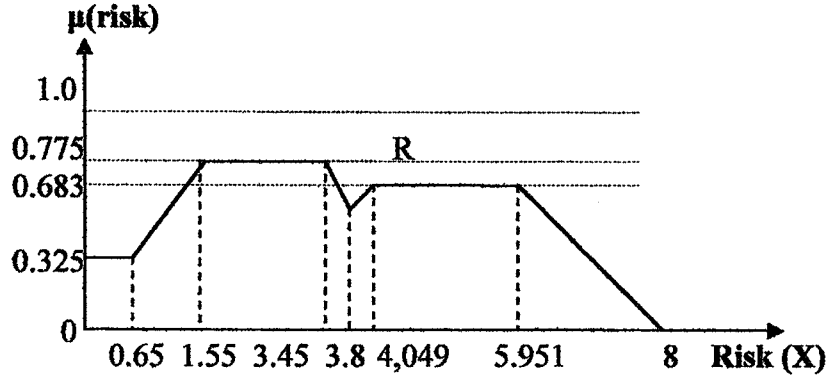
Aynı şekilde soncul kısımları aynı ve "Orta" olan 6, 8 ve 9 numaralı kurallar da birleştirilebilirler. Bu dört kural aşağıdaki şekilde matematiksel olarak ifade edilir. Ortak çıktı kümesinin grafiksel gösterimi de şekil 5.30'da verilmiştir.

$$\mu = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{Min}(0.775, 0.364, 0.683) \\ \text{Min}(0.683, 1.0, 0.683) \\ \text{Min}(0.683, 0.364, 0.683) \end{array} \right\} = 0.683 \quad (5.19)$$



Şekil 5.30 KURAL 5, KURAL 6, KURAL 8 ve KURAL 9'a ait çıktı bulanık kümesi

Bütün kuralların çıktı bulanık kümeleri tek bir grafikte gösterilmek istenirse şekil 5.31 elde edilir.



Şekil 5.31 HATA 1'e risk bulanık kümesi

Şekil 5.31'de gösterilen risk bulanık kümesi üzerinde ağırlık merkezi (centroid) yöntemi kullanılarak durulaştırma işlemi (5.9) eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\begin{aligned}
 x_s &= \frac{\int_0^8 \mu_R(x) \cdot x \cdot dx}{\int_0^8 \mu_R(x) dx} \\
 &= \frac{\int_0^{0.65} 0.325x dx + \int_{0.65}^{1.55} \left(\frac{x}{2}\right) x dx + \int_{1.55}^{3.45} 0.775x dx + \int_{3.45}^{3.8} \left(\frac{5-x}{2}\right) x dx + \int_{3.8}^{4.049} \left(\frac{x-2}{3}\right) x dx + \int_{4.049}^{5.951} 0.683x dx + \int_{5.951}^8 \left(\frac{8-x}{3}\right) x dx}{\int_0^{0.65} 0.325 dx + \int_{0.65}^{1.55} \left(\frac{x}{2}\right) dx + \int_{1.55}^{3.45} 0.775 dx + \int_{3.45}^{3.8} \left(\frac{5-x}{2}\right) dx + \int_{3.8}^{4.049} \left(\frac{x-2}{3}\right) dx + \int_{4.049}^{5.951} 0.683 dx + \int_{5.951}^8 \left(\frac{8-x}{3}\right) dx} \\
 &= 2.809
 \end{aligned} \tag{5.20}$$

(5.20) işlemiyle bulunan 2.809 değeri, HATA 1'in uzmanlarca tarif edilen risk değerinin sayısal (duru) karşılığıdır.

Çizelge 5.5 HATA 2 için uzmanlardan toplanan risk faktörü değerleri

Uzmanlar	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	Olasılık (L,D,U)	Şiddet (L,D,U)	Keşf. (L,D,U)
Uzman 1	Yaklaşık 1	Neredeyse 3	Yaklaşık 1	(0,1,3)	(2,3,4)	(0,1,3)
Uzman 2	Neredeyse 1	Yaklaşık 3	Neredeyse 1	(0,1,2)	(1,3,5)	(0,1,2)
Uzman 3	Yaklaşık 2	Neredeyse 2	Yaklaşık 2	(0,2,4)	(1,2,3)	(0,2,4)
Uzman 4	Neredeyse 1	Neredeyse 2	Neredeyse 1	(0,1,2)	(1,2,3)	(0,1,2)
Uzman 5	Neredeyse 1	Neredeyse 3	Neredeyse 1	(0,1,2)	(2,3,4)	(0,1,2)

HATA 2 (sakat) için uzmanlardan toplanan değerler çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Bu hata türü için de 1 numaralı hata türü için yapılan işlemler yapıldığında, HATA 2'nin duru risk değeri 1.914 bulunur. Bu riskin hesabında çizelge 5.3'te listelenmemiş kurallar kullanılmıştır. Fazladan kullanılan bu kurallar çizelge 5.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.6 HATA 2'nin risk değerinin belirlenmesinde kullanılan fazladan kurallar

Kural No:	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	Risk
1	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
2	Çok Düşük	Çok Düşük	Düşük	Çok Düşük
3	Çok Düşük	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
4	Çok Düşük	Düşük	Düşük	Çok Düşük
5	Çok Düşük	Orta	Çok Düşük	Düşük
6	Çok Düşük	Orta	Düşük	Düşük

Aynı şekilde yapılan hesaplamalarla HATA 3 (delik) için risk değeri 2.257 bulunur ve toplanan uzman verileri çizelge 5.7'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 HATA 3 için uzmanlardan toplanan risk faktörü değerleri

Uzmanlar	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	Olasılık (L,D,U)	Şiddet (L,D,U)	Keşf. (L,D,U)
Uzman 1	Yaklaşık 4	Neredeyse 3	Yaklaşık 4	(2,4,6)	(2,3,4)	(3,5,7)
Uzman 2	Neredeyse 4	Yaklaşık 3	Neredeyse 5	(3,4,5)	(1,3,5)	(3,4,5)
Uzman 3	Yaklaşık 2	Neredeyse 2	Yaklaşık 2	(0,2,4)	(1,2,3)	(0,2,4)
Uzman 4	Neredeyse 4	Neredeyse 2	Neredeyse 4	(3,4,5)	(1,2,3)	(3,4,5)
Uzman 5	Neredeyse 4	Neredeyse 3	Neredeyse 4	(3,4,5)	(2,3,4)	(3,4,5)

Yukarıdakilere dayanarak daha önceden tanımlanmış olan hata türlerinin önem sırası çizelge 5.8'de verilmiştir. Uzmanlardan toplanan verilerle oluşturulan bulanık kümelerin çekirdek değerleriyle yapılan geleneksel HTEA ile bulunan önem sıralaması da çizelge 5.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 Hata türlerinin bulanık HTEA ile bulunan önem sıralaması

Önem Sırası	Hata Adı	Risk Değeri
1	Atkı yığdırması (HATA 1)	2.809
2	Delik (HATA 3)	2.257
3	Sakat (HATA 2)	1.914

Çizelge 5.9 Hata türlerinin geleneksel HTEA ile bulunan önem sıralaması

Önem Sırası	Hata Adı	Risk Değeri
1	Delik (HATA 3)	38.988
2	Atkı Yığdırması (HATA 1)	28.749
3	Sakat (HATA 2)	3.267

5.3.4 Uygulama Sonucu

Uygulama çalışması Hürsan Tekstil'den alınan verilerle yapılmıştır. Çalışmada HTEA metoduna bulanık kümeler yaklaşımı entegre edilmiştir. HTEA karar sürecine dahil edilen yaklaşımda, bir kural tabanı oluşturulmuştur.

Uygulama sonucunda 3 hata türünün risk değerleri sırasıyla 2.809, 1.914, 2.257 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre birinci öncelik HATA 1'e, ikinci öncelik HATA 3'e aittir.

Uzmanlardan toplanan olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik girdi kümelerinin çekirdek değerleri alınarak her bir hata türü için geleneksel HTEA yaklaşımına göre RÖS hesaplandığında değerler sırasıyla 28.749, 3.267, 38.988 olarak bulunur. Geleneksel metoda göre ise birinci öncelik 3 numaralı hata türüne, ikinci öncelik 1 numaralı hata türüne aittir.

Bu iki metodun sonucundaki fark bulanık mantık metodunda kullanılan alt-üst sınır kavramından oluşmaktadır. Gerçek hayatın da böylesi bir dalgalanma gösterdiği varsayımından hareketle bulanık metodolojinin sonuçlarına güvenmek hatalı olmayacaktır.

Bulanık metodolojinin çıktılarının daha sağlıklı olması oluşturulan kural tabanının doğruluğuna bağlı olacaktır. Bu sebeple, kural tabanı oluşturma aşamasında uzmanların çok hassas davranması gerekmektedir.

Bu çalışmada, incelenen hata türlerinin risk değerleri belirlenmiş ve önem derecesine göre sıralanmıştır.

Kural tabanı ile işleyen karar süreci risk faktörlerinin göreceli önemlerinin de dikkate alınmasını sağlamıştır.



6. SONUÇLAR

Son yıllarda kaliteli ürün kullanmak bir lüks olmaktan çıkmış, tüketicilerin en doğal hakkı olmuştur. Arz miktarının çok, talep miktarının ise nispeten az olduğu günümüz pazarlarında bu durum kaçınılmazdır. Böyle bir pazarda pay sahibi olmak ise, en kaliteliyi üretmekle mümkün olacaktır. En kaliteli ürünü üretmek müşteri tatminini sağlayıp pazar payının artmasını sağlar. Ancak, tek başına bu da yeterli değildir. Zira, kaliteyi üretmek çok pahalıya mal oluyorsa pazar payının büyük olması, amacı kar etmek olan bir organizasyon için hiçbir şey ifade etmez.

Bu çalışmanın oluşturulması sırasında, en kaliteliyi, en ucuza, en kısa zamanda, en az kaynakla üretme çabaları sonucunda geliştirilen kalite tekniklerinden biri olan Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin (HTEA); sistem tasarım, süreç yada servislerin risk analizlerinin yapılıp, sürekli olarak iyileştirilmesi için kullanılabilir en iyi araçlardan biri olduğu görülmüştür.

HTEA bir risk analizi tekniği olduğu için, çıktıları henüz meydana gelmemiş olan tehlikelere işaret eder. Uygulamada yapılacak hatalar az önemli olan bir hatanın çok önemli gibi görünmesine neden olabilir. Bu sebeple, HTEA uygulamasının büyük bir hassasiyetle yapılması gerekmektedir.

Yine bu çalışma için yapılan araştırmalarda, HTEA ne kadar özenle yapılırsa yapılsın metodolojiden kaynaklanan sapmaların olduğu görülmüştür. Metodolojinin en önemli hatası tüm risk faktörlerini aynı önemde hesaba katmasıdır. Ayrıca karar aşamasında uzmanlardan alınan sayısal girdilerin, uzmanların akıllarındaki dilsel ifadeleri tam olarak yansıtmayı yansıtmadığı da bilinmemektedir.

HTEA'nın bu temel eksikliklerini gidermek için bulanık kümeler yöntemiyle çözüm olanağı araştırılmış, bir de uygulama yapılmıştır. Buna göre:

- Bir uzmanın düşüncesinin ve incelenecek olayların kesinsizlik özelliğinin olması nedeniyle konunun bulanık mantık aracının kapsamına girdiği
- Bulanık kümeler yaklaşımının HTEA'ya da uyarlanabildiği
- HTEA içerisinde bulanık kümeler yaklaşımının bulanık kural tabanı vasıtasıyla gerçekleştirmenin daha faydalı olacağı görülmüştür.

Çalışma kapsamında yapılan uygulamada bir tekstil işletmesinde belirlenmiş çeşitli hata türleri arasından rastgele seçilen üç hata için HTEA yapılmıştır. HTEA içerisinde bulanık mantık yaklaşımının kullanımı da detaylı olarak anlatılmıştır.

Sonuç olarak, Bulanık kural tabanı HTEA içerisinde başarıyla uygulanabilmektedir. Bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar, geleneksel HTEA sonuçlarına çok yakındır. Bu çalışmanın tutarlılığını ispatlamaktadır. Ayrıca, bir kural tabanı oluşturulmasının, uzman fikrinin etkinliğini arttırdığı ve risk faktörlerinin ayrı ayrı dikkate alınabilmesini sağladığı bulgulanmıştır. Dolayısıyla çalışma, risk faktörlerinin görece önemlerinin dikkate alınabildiği bir modelin oluşturulması ve uygulanmasıyla temel amacına ulaşmıştır.

Ayrıca risk faktörlerinin üyelik fonksiyonlarıyla ifade edilmesi de, uzmanların dilsel ifadelerle fikir beyan etme eğilimlerinin sisteme dahil edilmesini sağlamıştır. Bu sayede uzman görüşleri hiçbir dönüşüme uğramadan direk olarak sisteme dahil edilebilmektedir.

Diğer yandan bu yaklaşımın da eksik yanları görülmüştür. Zira, üyelik fonksiyonları ve kural tabanının oluşturulması çok büyük faydalar sağlarken, uzmanların karar aşamasındaki tahminlerinin de bulanık kümelerle ifade edilmesi, çıkarım sürecini uzatmaktadır. Ayrıca bu durum, bulanık mantığın en önemli özelliği olan çabuk çözüm üretme becerisini de baltalamaktadır. Bu yüzden bulanık mantığın olası hatalardan ziyade, çalışan bir sistemde görülen hatalar ve bu hataların istatistiksel verileriyle uygulanmasının daha uygun olacağı düşünülebilir. Yani girdilerin kesin (crisp) olduğu durumlar için bulanık mantık daha uygun görünmektedir.

Sistemin bir başka dezavantajı uzman seçiminde oluşmaktadır. Yeni metotla uzmanların sonuç üzerindeki etkisi artmıştır. Ayrıca tüm süreç uzmanların belirlediği kurallar ve üyelik fonksiyonları ile çalışmaktadır. Bu sebeple uzmanların beyanlarında oluşacak bir hata veya tutarsızlık üyelik fonksiyonlarının biçimini bozarak modeli çözümsüzlüğe, yada kuralın hatalı kurulmasına neden olarak analizi yanlış sonuçlara götürebilmektedir.

Konuyla ilgili gelecek çalışmalarda, bu çalışmayı tamamlayacak biçimde, HTEA'nın kesin (crisp) olmayan girdilerle uygulanmasını kolaylaştıracak yeni bir model geliştirilmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Albers, W., Wilbert, W. C. M., Kallenberg, C. M. ve Nurdiati, S., (2004), "Parametric Control Charts", *Journal of Statistical Planning and Inference*, 124: 159-184.
- Benner, M., Linnemann, A. R., Jongen, W. M. F. ve Folstar, P., (2003), "Quality Function Deployment (QFD)—Can It Be Used to Develop Food Products?", *Food Quality and Preference*, 14: 327-339.
- Baraçlı, H., (1998), Sıfır Hataya Ulaşmada Poka-Yoke Tekniği ve Ayakkabı Sektöründe Uygulama Çalışması, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Boran, S., (1995), Hata Şekli ve Etkileri Analizi'nin Bulanık Küme Yaklaşımıyla Çözümlemesi Olanığı, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cristiano J. J., Liker J. K. ve White III, C. C., (2000), "Customer-Driven Product Development Through Quality Function Deployment in The U.S. and Japan", *Journal of Product Innovation Management*, 17: 286-308
- Eryürek, Ö. F., (2003), Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminde Yeni Bir Karar Verme Modeli, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Eti, M. C., Ogaji, S. O. T. ve Probert, S. D., (2004), "Implementing Total Productive Maintenance in Nigerian Manufacturing Industries", *Applied Energy*, (baskıda).
- Feigenbaum, A. V., (1991), *Total Quality Control*, McGraw-Hill, inc., New York.
- Halder, E., (1997), *Six Sigma Training Manual*, Arçelik Eğitim Notları, İstanbul
- Huang, G. Q., Nie, M. ve Mak, K. L., (1999), "Web Based Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)", *Computers & Industrial Engineering*, 37: 177-180.
- Han, C. H., Kim, J. K. ve Choi, S. H., "Prioritizing Engineering Characteristics in Quality Function Deployment with Incomplete Information: A linear Partial Ordering Approach", *International Journal of Production Economics*, (baskıda).
- Kobu, B., (1981), *Endüstriyel Kalite Kontrolü, Önsöz Basım ve Yayıncılık*, İstanbul.
- Kovancı, A., (2001), *Toplam Kalite Yönetimi Fakat Nasıl?*, Sistem Yayıncılık, İstanbul.
- Linderman, K., McKone-Sweet, K. E. Ve Anderson, C. A., "An Integrated Systems Approach To Process Control and Maintenance", *European Journal of Operational Research*, (baskıda).
- MathWorks, (1995), *Fuzzy Logic Toolbox For Use With MATLAB: User's Guide Version 2*, The MathWorks, inc., Natick.
- MIL STD 1629A, (1984), *Procedures for Performing A Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*, Department of Defence, USA.
- Öndemir, Ö., Şen, C. ve Baraçlı, H., (2004), "Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Yaklaşımının Kullanılabilirliği", *Yöneylem Araştırması / Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi*, 15-18 Haziran 2004, Adana
- Palady, P., (1995), *Failure Modes and Effect Analysis*, PT Publications Inc, West Palm Beach.
- Pillay, A. ve Wang, J., (2003), "Modified Failure Mode and Effect Analysis Using Approximate Reasoning", *Reliability Engineering and System Safety*, 79: 69-85.
- Pyzdek, T., 2003, *The Six Sigma Project Planner: A Step-by-Step Guide to Leading A Six Sigma Project Trough DMAIC*, McGraw-Hill,inc., New York.

- Ross, T. J., (1995), *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, McGraw-Hill, inc., New York.
- Ross, P.J., (1989), *Taguchi Techniques For Quality Engineering*, McGraw-Hill, inc., New York.
- Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, A. ve Arena F., 2002, "FMEA Methodology Design, Implementation and Integration with HACCP System in A Food Company", *Food Control*, 13: 495-501.
- Self, C. A. ve Enzenauer, R. W., 2004, "The Application of Statistical Process Control to Horizontal Strabismus Surgery", *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 8: 165-170.
- Stamatis, D. H., (1995), *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*, ASQ, Milwaukee.
- Şen, Z., (2001), *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*, Bilge Kültür Sanat, İstanbul.
- Şimşek, M., (2000), *Sorularla Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemleri*, Alfa Yayınları, İstanbul.
- Topal, Ş., (2000), *Kalite Yönetimi ve Güvence Sistemleri*, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- TSE İPK Eğitimi, (2001)
- Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L. ve Zhu, M. L., (2002), "Fuzzy Assessment for FMEA for Engine Systems", *Reliability Engineering and System Safety*, 75:17-29.
- Yang, Y. Q., Wang, S. Q., Dulaimi, M., ve Low, S. P., (2003), "A fuzzy Quality Function Deployment for Buildable Design Decision- Makings", *Automation Construction*, 12:381-393.

EKLER

EK 1 Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması sırasında uzmanların verdikleri yanıtlar (2 sayfa)

	Uzmanlık Katsayısı	UZMAN 1	UZMAN 2	UZMAN 3	UZMAN 4	UZMAN 5	Üyelik
		0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	
Değer							
Çok Düşük	0	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	0	1	1	1	0,7
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0
Düşük	0	1	1	1	0	0	0,5
	1	1	1	1	1	0	0,7
	2	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1
	4	1	1	1	1	1	1
	5	0	1	0	0	0	0,3
	6	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0
Orta	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	1	1	0	1	0,7
	4	0	1	1	1	1	0,9
	5	1	1	1	1	1	1
	6	1	1	1	1	1	1
	7	1	0	1	1	0	0,4
	8	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0

**EK 1 Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması sırasında uzmanların verdikleri yanıtlar
(devam)**

	Uzmanlık Katsayısı Değer	UZMAN 1	UZMAN 2	UZMAN 3	UZMAN 4	UZMAN 5	Üyelik
		0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	
Yüksek	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	1	0	0
	6	0	1	1	1	1	0
	7	1	1	1	1	1	0
	8	1	1	1	1	1	0
	9	0	1	1	0	1	0
	10	0	0	0	0	0	0
Çok Yüksek	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
	8	0	1	1	1	0	0
	9	0	1	1	1	1	0
	10	1	1	1	1	1	0

1: Evet

2: Hayır

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 25.04.1980

Doğum Yeri İstanbul

Lise 1994-1998 A. Rıfat Canayakın Lisesi

Lisans 1998-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

2002- Devam Ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi

