

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ YÖNTEMİNDE
YENİ BİR KARAR VERME MODELİ

I.T.Ü MERKEZ KÜTÜPHANESİ
Demirbaş No: 101.087
Küt. Giriş No :

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Ömer Faruk ERYÜREK
503902004

MAK
D2M46
ERY

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Ekim 2003

Tez Danışmanı :
Diğer Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Mehmet TANYAS

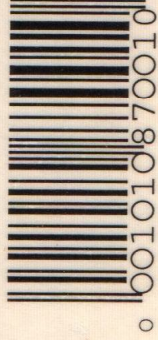
Prof.Dr. Barlas ERYÜREK

Prof.Dr. Hüseyin BAŞLIĞİL (Y.T.Ü.)

Prof.Dr. Semra BARLA (K.Ü.)

Yrd. Doc.Dr. Muzaffer ERTEN

[Signatures]
RED W. B. 1
M. B. 1
M. B. 1
M. B. 1
M. B. 1



ÖNSÖZ

“Kalite nedir?” sorusunun cevabı asırlardan bu yana aynı; Tüketicilerin beklentilerinin karşılanması. Tüketiciler bugün yüksek kaliteyi minimum fiyatla istiyor. Bu, eski yöntemlerin uygulanması ile karşılanabilecek bir talep değil. Talep tahmininden başlayıp, sözel beklentilerin teknik parametrelere çevrilmesi ile devam eden, bu teknik beklentileri karşılayacak hatasız ürünler tasarlayıp, üretip, müşterilere ulaştırıp, ürün ömrü boyunca gereken servis hizmetini vermeye ve hatta ürünün kolaylıkla ve geri dönüşümlü olarak bertarafına kadar devam eden sonsuz bir çevrim.

Neredeyse imkansız gibi görünen bu çevrimi başarılı bir şekilde gerçekleştirmeye yönelik olarak özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında önemli teknikler geliştirildi. Bunların en önemlilerinden biri; hataların ortaya çıkmasının önlemeye, bir şekilde ortaya çıkarlarsa da kullanıcılara ulaşmadan önlem alınması hedefine yönelik olarak geliştirilen Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi.

1970’li yıllarda rekabet üstünlüklerini Japon firmalarına kaptıran Amerikan firmaları tarafından tasarıma yönelik olarak geliştirilen yöntemin kapsamı daha sonra sistem, proses ve servis hizmeti tasarımına da genişletilmiş. Özellikle ülkemiz ve benzeri konumdaki, tasarımdan üretime ve servis hizmetlerine kadar olan süreçlerinde topyekün bir kalkınma aşamasında olan ülkelere yöntemin yaygın kullanımı büyük önem taşıyor. Yapılan incelemelerde konu hakkında son yıllarda önemli bir gelişme olmadığı ortaya çıktı. Özellikle karar verme aşamasında daha objektif bir yol izlenmesine yönelik yapılacak bir geliştirmenin yöntemi daha sağlıklı hale getireceği düşünülerek bu yönde bir çalışma yapılmasına karar verildi.

Tez çalışmalarım sırasında, kutsallığına inandığım aile kavramı içinde kendilerinde ayırmam gereken zamanları kullandığım ve her zaman sonsuz desteklerini gördüğüm için ilk önce eşim ve kızıma teşekkür borcum var. Aynı değerdeki minnet duygularını, her zaman desteğini aldığım, saygın akademik kişiliği ile ülkemizin endüstriyel yaşamında da kendine yer edinmiş mentorum Doç. Dr. Mehmet Tanyaş ve özellikle karar verme konusundaki çalışmalarına yaptığı katkılar için Yard. Doç. Dr. Y. İlker Topçu için de hissediyorum. En azından konsantrasyon anlamında bazı eksiklerim olduğu düşüncesiyle, başta Arçelik ÇAM İşletmesi Direktörü Sn. Osman Ulusoy olmak üzere tüm yönetim takımına ve bölümünün mühendislerine bu eksiklerimi kapattıkları ve beni destekledikleri için sonsuz teşekkürlerimi göndermek isterim.

Bitirirken, öğrencisi olduğum ilk günden bu yana meslek seçimimden hiçbir zaman pişman olmayacak tarzda gerçek bir mühendislik eğitimi almamı sağlayan, bu prensiplerini sürekli koruyan, uluslararası anlamda saygı gören Türk Mühendisliğinin temel taşı İstanbul Teknik Üniversitesinin tüzel kişiliğine, bu çizginin korunmasını sağlayan insanlara, hayatta olmayanları da rahmetle anarak en derin saygılarımı ayrıca sunmak isterim.

Mayıs, 2003

Ömer F. Eryürek

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR

vii

TABLO LİSTESİ

viii

ŞEKİL LİSTESİ

ix

SEMBOL LİSTESİ

x

ÖZET

xi

SUMMARY

xiv

1. GİRİŞ

1

2. ÇAĞDAŞ KALİTE TEKNİKLERİ

13

2.1 Kontrolle Yönelik Teknikler

14

2.1.1 Muayene ve Deneyler

14

2.1.2 Örnekleme Planları

15

2.1.2.1 Tek Katlı Örnek Alma Planları

15

2.1.2.2 Çift Katlı Örnek Alma Planları

18

2.1.2.3 Değişken Örnek Alma Planları

20

2.1.3 Ölçme Sistemi Yeterlilik Analizi

20

2.2 Önlemeye Yönelik Teknikler

22

2.2.1 Kalite Fonksiyon Açınımı

22

2.2.2 Hata Türü ve Etkileri Analizi

24

2.2.3 İstatistiksel Proses Kontrolü

25

2.2.3.1 Prosesin Gerçek Zamanlı Kontrolüne Yönelik Kontrol Tabloları

26

2.2.3.2 Proses ve Tezgah Yeterlilik Analizleri

28

2.2.4 Altı Sigma

33

2.2.5 Toplam Üretken Bakım

35

3. YAYIN TARAMA

37

4. HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ YÖNTEMİ

46

4.1 Hata ve Hasar Kavramlarına Yönelik Genel Tanımlamalar

46

4.2 HTEA Yöntemi Nedir ?

47

4.3 HTEA' nin Yararları

50

4.4 Konuyla İlgili Genel Tanımlar

51

4.4.1	Ürün	51
4.4.1	Ürün Güvenilirliği	51
4.4.2	Ürün Hatası veya Hasarı	51
4.4.3	Uygun veya Uygun Omayan Kullanım	52
4.5	Sisteme Genel Bakış	53
4.5.1	HTEA Çalışmasının Başlatılması	54
4.5.2	Çalışmanın Tamamlanması	54
4.5.3	Ekip/Grup	55
4.6	Teknik	59
4.6.1	Hata Türleri, Etkileri ve Sebeplerinin Belirlenmesi	59
4.6.2	Hata Türlerinin Önceliklendirilmesi	60
4.6.3	Saptanan Hata Türleri İçin Gereken Önlemlerin Alınması	62
4.7	HTEA Yönteminin İyileştirmeye Açık Yönleri	63
5.	KARAR VERME	66
5.1	Karar Analizi	67
5.2	Karar Verme Süreci	68
5.3	Karar Verme ile İlgili Temel Kavramlar	70
5.3.1	Sorunlar	70
5.3.2	Karar Verme Sürecine Katılanlar	72
5.3.3	Seçenekler	73
5.3.4	Amaçlar, Kriterler ve Ölçütler	73
5.3.5	Yöntemler	74
5.4	Karar Verme Yöntemleri	74
5.4.1	Değer / Fayda Temelli Yöntemler	75
5.4.1.1	Çok Ölçütlü Değer Teorisi	75
5.4.1.2	Basit Toplamlı Ağırlıklandırma	76
5.4.1.3	Ağırlıklı Çarpım	77
5.4.1.4	Topsis	77
5.5.1.5	Analitik Hiyerarşi Süreci	78
5.5.1.6	Analitik Hiyerarşi Süreci Puanlama Yöntemi	79
5.4.2	Üstünlük Yöntemleri	79
5.4.2.1	ELECTRE	79
5.4.2.2	PROMETHEE	80
5.4.3	Etkileşimli Sorun Çözüm Yöntemleri	80
5.4.3.1	PRIAM	80
5.4.3.2	STEM	80
5.4.3.3	Değişen Hedef Yöntemi	81

5.4.3.4 AIM	81
5.4.3.5 VIG	82
5.4.3.6 Dışbükey Koniler Yöntemi	82
5.4.4 Diğer Yöntemler	82
5.4.4.1 İkili Değiştirme Yöntemi	82
5.4.4.2 Ardışık Sırasal Yöntem	83
5.4.4.3 Ardışık Yarı Sırasal Yöntem	83
5.4.4.4 Özelliklerine Göre Eleme Yöntemi	83
5.4.4.5 İyimserlik ve Kötümserlik Yöntemleri	83
5.4.5 Birleştiren ve Ayıran Yöntemler	84
5.4.6 Bulanık Küme Teorisinden Yararlanan Yöntemler	84
5.4.7 Çok Değişkenli Analiz Yöntemleri	84
5.4.8 Belirsizlik Altında Karar Verme Yöntemleri	84
5.5 Oluşturulacak Yeni Modelde Kullanılacak Yöntemin Belirlenmesi	84
6. GELİŞTİRİLEN YENİ MODEL	89
6.1 Önerilen Yaklaşım	89
6.1.1 Önerilen Yeni Teknik	89
6.1.2 Önerilen Yeni Karar Verme Modeli	92
6.2 Çalışma Grubu	93
6.3 Gerekli Olan Veri Tabanı	94
6.4 Planlama	94
6.5 Oturum Yeri	95
6.6 Modelin Uygulama Algoritması	95
6.6.1 Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemi	99
6.6.2 ELECTRE Yöntemi	100
6.7 Geliştirilen Yeni Yöntemin Alt Başlıklar bazında Detaylı Tarifi	102
6.7.1 Hata Türlerinin Belirlenmesi	102
6.7.2 Hata Türlerinin Olası Etkilerinin Belirlenmesi	102
6.7.3 Etkilerin Maliyetlerinin Belirlenmesi	102
6.7.4 Hata Türlerinin Sebeplerinin Belirlenmesi	103
6.7.5 Sebeplerin Olasılıklarının Belirlenmesi	104
6.7.6 Maliyetlerin Olas. Çarpımı ile Etki Maliyetlerinin Belirlen.	104
6.7.7 Önlemlerin (Seçeneklerin) Belirlenmesi	104
6.7.8 Önlemlerin Uygulanması Sonrasında Kalan Hata Mal. Belirlen.	105
6.7.9 Ölçütlerin Belirlenmesi	105
6.7.10 Ölçütlerin Ağırlıklandırılması	106

6.7.11 Önlemlerin Ölçütler Bazında Değerlendirilmesi	107
6.7.10 Önlemlerin Önceliklendirilmesi ve İdeal Önlemin Saptanması	107
6.8 İyileştirme Yapılacak Hata Türlerinin Belirlenmesi	108
6.9 Oluşturulan Program	108

7. YÖNTEMİN UYGULAMASI

7.1 HTEÖA Örnek Uygulama	112
7.1.1. Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemiyle Karar Verme	112
7.1.2 ELECTRE Yöntemiyle Karar Verme	114
7.1.2.1 Delik Çapının Büyük Olması Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi	120
7.1.2.2 Mil Kırılması Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi	121
7.1.2.3 Sargı Dizaynı Yetersizliği Sebebinin ELECTRE ile Değerlendirilmesi	121
7.1.2.4 Hava Aralığı Yetersizliği Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi	122
7.1.2.5 Rotor Salgı Fazlalığı Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi	123
7.1.2.6 Manyetik Ses Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi	124
7.1.2.7 Mylar / İp Sürtmesi Hatası	124
7.1.3 Genel Değerlendirme ve İyileştirilecek Hata Türlerinin Belir.	127
7.1.4 Geliştirilen Yardımcı Programın Uygulaması	128
7.2 HTEA Örnek Uygulama	130
7.3 Yöntemler Arasındaki Farklar	130

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR

EK A

132

EK B

136

ÖZGEÇMİŞ

140

Disket

143

KISALTMALAR

AIM	: Aspiration–Level Interactive Method
AHS	: Analitik Hiyerarşi Süreci
ASQ	: American Society for Quality
ATS	: Alt Tolerans Sınırı
BTA	: Basit Toplamlı Ağırlıklandırma
EFQM	: European Foundation for Quality Management
ELECTRE	: Elimination et Choix Traduisant la Réalité
FMEA	: Failure Mode and Effect Analysis
GE	: General Electric
GM	: General Motors
HTEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
HTEÖA	: Hata Türü, Etki ve Önlem Analizi
İPK	: İstatistiksel Proses Kontrolü
JISC	: Japanese Industrial Standards Comitee
KFA	: Kalite Fonksiyon Açınımı
KA	: Karar Analisti
KOGEM	: Koç Holding Eğitim ve Geliştirme Merkezi
KV	: Karar Verici
OEM	: Original Equipment Manufacturer (Son Kullanıcıya Yönelik Üretim yapan Firmalar; Örnek: Beyaz Eşya)
PRIAM	: Programme Utilisant L’Inteligente Artificielle en Multicritère
PROMETHEE	: Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation
QCRG	: Quality Control Research Group
QFD	: Quality Function Deployment
RÖG	: Risk Öncelik Göstergesi
RPI	: Risk Priority Index
SPC	: Statistical Process Control
STEM	: Step Method
TKK	: Toplam Kalite Kontrol
TOPSIS	:Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TÜ(V)B	: Toplam Üreten (Verimli) Bakım
ÜTS	: Üst Tolerans Sınırı
VIG	: Visual Interactive Goal Programming

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Örnek Büyüklüğü Kod Harfleri	17
Tablo 2.2. Tek Katlı Örnek Alma Planı	18
Tablo 2.3. Çift Katlı Örnek Alma Planı	19
Tablo 2.4. Düzeltme Katsayıları	29
Tablo 4.1. Problem Çözümü Gelişimi	48
Tablo 4.2. Tasarım HTEA İçin Değerlendirme Tablosu.....	61
Tablo 5.1. Sorunları Sınıflandırma Çeşitleri	71
Tablo 7.1. Delik Çapının Büyük Olması Sebebinin Değerlendirilmesi	114
Tablo 7.2. Mil Kırılması Sebebinin Değerlendirilmesi	115
Tablo 7.3. Sargı Dizaynı Yetersizliğinin Değerlendirilmesi	116
Tablo 7.4. Hava Aralığı Yetersizliği Sebebinin Değerlendirilmesi	117
Tablo 7.5. Rotor Salgı Fazlalığı Sebebinin Değerlendirilmesi	117
Tablo 7.6. Manyetik Ses Sebebinin Değerlendirilmesi	118
Tablo 7.7. Mylar / İp Sürmesi Sebebinin Değerlendirilmesi	118
Tablo 7.8. Uyum Matrisi	120
Tablo 7.9. Normalize Matrisi	120
Tablo 7.10. Uyumsuzluk Matrisi	120
Tablo 7.11. Uyum Matrisi	121
Tablo 7.12. Normalize Matrisi	121
Tablo 7.13. Uyumsuzluk Matrisi	121
Tablo 7.14. Uyum Matrisi	121
Tablo 7.15. Normalize Matrisi	122
Tablo 7.16. Uyumsuzluk Matrisi	122
Tablo 7.17. Uyum Matrisi	122
Tablo 7.18. Normalize Matrisi	122
Tablo 7.19. Uyumsuzluk Matrisi	122
Tablo 7.20. Uyum Matrisi	123
Tablo 7.21. Normalize Matrisi	123
Tablo 7.22. Uyumsuzluk Matrisi	123
Tablo 7.23. Uyum Matrisi	124
Tablo 7.24. Normalize Matrisi	124
Tablo 7.25. Uyumsuzluk Matrisi	124
Tablo 7.26. Etkileşim İnceleme Matrisi.....	126
Tablo 7.27. Hata Türü, Etkileri ve Önlem Analiz Sonuç Tablosu.....	128
Tablo 7.28. Hata Türü ve Etkileri Analizi.....	130
Tablo A1 Hata Türü Etki ve Önlem Analizi Tablosu.....	140

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1.	24
Şekil 2.2.	27
Şekil 2.3.	29
Şekil 2.4.	32
Şekil 2.5.	33
Şekil 4.1.	65
Şekil 5.1.	69
Şekil 6.1.	92
Şekil 6.2.	98

SEMBOL LİSTESİ

S1, S2, S3, S4	: Özel Muayene Planı Muayene ve Kritiklik Seviyeleri
GI, GII, GIII	: Genel Muayene Planı Muayene ve Kritiklik Seviyeleri
K	: Kabul sayısı
R	: Red sayısı
C_m	: Makina yeterliliği
C_p	: Proses yeterliliği
T_s	: Tolerans bölgesi
T_{NAT}	: Proses dağılımı
S	: Standart sapma
K	: Düzeltme katsayısı
C_{mk}	: Makina performansı
C_{pk}	: Proses performansı
x_{ij}	: a_i seçeneğinin j . ölçüte kıyasla performans değeri
r_{ij}	: Normalize performans değeri
w_j	: j . ölçütün göreceli önemi
V(a_i)	: a_i seçeneği için bileşik değer fonksiyonu değeri
c(a_i, a_j)	: Uyumluluk göstergesi
d(a_i, a_j)	: Uyumsuzluk göstergesi
$\hat{c}$	: Uyumluluk eşiği
$\hat{d}$	: Uyumsuzluk eşiği

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ YÖNTEMİNDE YENİ BİR KARAR VERME MODELİ

ÖZET

İlişkide bulunduğumuz yabancı insanların “Bu kadar çalışan, güncel bilgi ile donanmış ve gelişmelere göre değişim gösterebilen insanların olduğu ülkenizin sürekli ekonomik krizlerle boğuşmasını anlayamıyoruz” ifadesi ile şaşkınlıklarını dile getirdikleri ülkemizin ekonomik ve politik durumunun temel sebebi herhalde ülke yönetimindeki insanların dış ticareti ve buna bağlı üretim sektörlerini yönlendirecek ve destekleyecek ülke ölçeğindeki orta ve uzun vadeli planların önemini yeterince kavrayıp hayata geçirememeleri. Böylesine bir planlı destekten yoksun, hatta birçok üstü örtülü engeller olmasına rağmen ülkemizin girişimci insan ve grupları dış satımın ülke kalkınmasındaki kilit önemini kavramış ve dünyanın dört bir yanında her türlü rekabetin kıyasıya yaşandığı pazarlarda savaş veriyor.

Rekabet özellikle uluslararası rekabet denince üç temel konu ön plana çıkıyor; Fiyat, Kalite ve Zamanında Teslim. Fiyat ve kalite konusunda sürekli iyileştirmenin sadece kontrole yönelik önlemlerle elde edilemeyeceği artık son derece açık. Bunun yerine daha tasarım aşamasından başlayarak, hataların oluşmasını önlemeye, istenmediği halde bir şekilde ortaya çıkan hataları da kullanıcılara ulaşmadan ortadan kaldırmaya yönelik tekniklere dört elle sarılma zamanı. Aslında böyle bir yola girildiği zaman işe müşteri beklentilerinin doğru algılanıp, soyut ifadelerle dile getirdiği taleplerini teknik parametrelere çevirecek araçların kullanımı ile başlamak lazım. Ancak Kalite Fonksiyon Açılımı ilk öncelikli olmak üzere bu tarz yöntemler daha çok kendi markaları ve yenilikçi, hatta buluşcu tasarımları ile küresel bazda pazarlama yapan firmaların öncelikli ilgi alanına giriyor. Bu demek değildir ki bu tarz yöntemler bölgesel pazarlarda yerel ürünlerle rekabet eden firmalarda kullanılamaz, ancak bu tarz firmaların ilk etapta her türlü geliştirme faaliyetinin sonucunu hatalardan arındırmaya ve tüm süreçlerinde eleştirel bir yaklaşım ile sürekli, iyileştirme sağlayacak yöntemlere odaklanması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Aslında bu şekilde, tasarım sürecini kusursuz hale getirmek ve üretim süreçlerini sürekli kontrol altında tutmak ve iyileştirmek küresel rekabete hazırlanma açısından son derece yararlı bir ön çalışma olacaktır. Ülkemizin uluslararası rekabet anlamındaki konumu göz önüne getirildiğinde daha çok ikinci kategoriye girdiği gözlemlenmektedir. Beyaz eşya, tekstil, lastik ve genel makine imalatı gibi sektörlerde kendi markası ve yenilikçi tasarımları ile küresel anlamda rekabetin içinde olan firmaların sayısı ne yazık ki pek fazla değil. Bu durum ulusal firmaların öncelikli olarak yukarıda ikinci kategoride verilen araçlara odaklanmaları gerektiğini ortaya çıkarıyor. Bu amaca hizmet eden araçların başında sırasıyla Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), İstatistiksel Proses Kontrolü ve Altı Sigma geliyor. Hata Türü ve Etkileri Analizi tasarımların kusursuzluğunu amaçlayan, İstatistiksel Proses Kontrolü üretim süreçlerini önleyici yönde destekleyen ve Altı Sigma da ortaya çıkan problemlere sistematik bir şekilde yaklaşım sağlamayı sağlayan

yöntemler. Aslına bakılırsa bu akışın en önemli adımı tasarım. Tasarım sırasında alınacak önlemler ile daha sonraki adımlarda problemsiz bir üretim ve ürünler sağlanacağı çok açık. Bu nedenle tasarımların hatadan arındırılmasına yönelik olarak geliştirilmiş ve diğerlerine kıyasla en yoğun kullanım bulmuş yöntem olan Hata Türü ve Etkileri Analizi tüm firmaların sıklıkla ve doğru olarak kullanması gereken bir yöntem.

Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi, 1970'li yıllarda ticari üstünlüklerini daha ucuz ve kaliteli ürünler üreten Japon firmalarına kaptırıp bu durumu tekrar eski haline getirebilmek için bir yol bulma arayışına giren Amerikan firmalarınca geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntemi 1970'lerin ikinci yarısında ilk uygulayan Ford ve General Motors gibi otomotiv şirketleri, 80'li yıllarda ise küresel anlamda yaygınlaşıyor ve 90'larda ülkemizde de kullanılmaya başlıyor. Konu ile ilgili literatür araştırması yapıldığında çok fazla kaynak bulunamaz. Yayınlanmış birkaç kitabın ve Uluslararası Kalite Dergilerindeki makaleler dışında asıl önemli kaynaklar Ford, GM, Arçelik gibi firmaların eğitim dokümanları ve daha önce bu konu üzerinde yapılmış ve değişik ortamlarda sunulmuş ve yayınlanmış akademik çalışmalardır.

Yöntem, ilk önce sadece ürün tasarımına yönelik olarak kullanılmış ancak daha sonra yapılan bazı değişikliklerle ki bunlar ağırlıklı olarak hata sebeplerinin değerlendirilmesine yöneliktir, sistem, prose ve servis/bakım hizmeti tasarımına da uygulanır hale gelmiştir. Günümüzde çoğu ülkede Ürün Güvenilirliğine ve Üretici Sorumluluğuna yönelik kanuni düzenlemeler sözkonusudur. Bu tip düzenlemelerle kullanıcıda ortaya çıkan herhangi bir problemde üreticinin kendi kusursuzluğunu veya tasarımdan başlayarak tüm süreçlerinde hatasız ürünler oluşturabilmek için gereken her türlü önlemi aldığını kanıtama zorunluluğu gelmektedir. Bazı durumlarda yöntemin kullanımı bu tip kanuni düzenlemeleri karşılayabilmek için zorunlu hale bile gelebilmektedir. Örneğin Almanya'da insan ve yük kaldıran makina ve bileşenlerini üreten firmalar bu tip yöntemlerin kullanımı ile tasarım ve üretimlerini garanti altına aldıklarını gösterebilmektedirler.

Hata Türü ve Etkileri Analizi yönteminin uygulaması bir ekip tarafından yapılır. Çalışma sırasında öncelikle potansiyel hata türleri ortaya konur. Daha sonra bu hata türlerinin etkileri ve sebepleri tahmin edilir. Herbir sebep, "Olasılık (hatanın ortaya çıkma frekansı)", "Şiddet (hatanın ciddiyeti)" ve "Keşfedilebilirlik (hatanın kullanıcıya ulaşmadan farkedilme olanağı)" açısından 1 den 5 veya 10'a kadar bir puanlama ile değerlendirilir. Bu değerlendirme sonrasında her üç puan birbiri ile çarpılarak "RÖG (Risk Öncelik Göstergesi)" puanı hesaplanır. Daha sonra yine ekip tarafından tesbit edilecek istatistiksel güven eşliğinin üstündeki puanlara sahip hata türleri için iyileştirme çalışması yapılır. İyileştirme çalışmaları genellikle ekibin görevlendireceği kişi veya farklı ekipler tarafından ele alınır. İyileştirme çalışması yapılan hata türü sebepleri tekrar ele alınarak geline son durum çerçevesinde değerlendirmeler tekrarlanır. İkinci değerlendirme sonucunda tüm hata türlerinin eşik değerin altında kalması halinde çalışma sonuçlandırılır. HTEA yöntemi yaşayan bir sistemattir ve tasarım çalışmasının başlaması ile başlayıp, üretim süreçlerine de uygulanıp, ürünün üretimi ile tamamlanır. Tüm bu akış içinde gelişen yenilikler çerçevesinde yapılan değişiklikler ile yeni durumlara da uyum sağlanır.

Yöntemin eleştiriyeye en açık yönü olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik açısından yapılan değerlendirmelerin subjektifliği ve seçilen hata türleri için yapılacak iyileştirmelerin zaman zaman çalışanın ilk bölümü ile bütünlük sağlayamamasıdır.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında bu olumsuz yönleri gidermeye yönelik yollar aranmıştır. Bu yapılırken göz önünde tutulan en önemli öncelik ise yeni oluşturulan sistemin mümkün olduğunca kolay uygulanabilecek pratik bir yaklaşım olması gerekliliğidir. Bu amaçla, öncelikle her hata sebebini önlemeye yönelik önlemlerin bizzat çalışmayı yapan ekip tarafından aynı oturmada ortaya konmasının çalışmanın birinci ve ikinci kısımları arasındaki bağlantıyı kuvvetlendireceği düşünülmüştür. Daha sonra bu önlemlerin olumlu ve olumsuz yanlarını ortaya çıkaran ölçütler tanımlanır. Bu ölçütler, maliyet, üretim verimi, hatanın önlenmesine yönelik etkinin derecesi, üretimin sürdürülebilirliği gibi kriterler olabilir. Bu kriterlerin değerlendirilmesi sırasında subjektiflikten kurtulabilmek için olabildiğince var/yok, az/çok gibi kolay değerlendirilebilecek skalaların kullanılması tavsiye edilir. Seçenekler ve ölçütler ortaya konduktan sonra tüm seçenekler ölçütlere göre değerlendirilir. Bu şekilde karar verme süreci subjektif olmaktan kurtulup matematik bir tabana indirgenmiş olur.

Bu aşamadan sonra gelen önemli bir diğer konu ise karar verme için hangi yöntemin kullanılacağıdır. Bu konuda bir sonuca varabilmek için değişik kaynaklardan karar verme sistematiği ve yöntemleri araştırılmıştır. Bunun sonucunda Değer / Fayda Temelli Karar Verme yaklaşımlarından Basit Toplamlı Ağırlıklandırmanın (BTA) örneğimizde olduğu gibi kesikli seçeneklere sahip (discrete) durumlarda ölçütlerin her seçeneğe karşılık gelen değerlerinden hareketle en uygun seçeneği verebilecek kolay uygulanabilir bir yöntem olduğu ve bu çalışma kapsamında kullanılabileceği düşünülmüştür. Ancak burada ölçütlerin ağırlık durumlarından kaynaklanan bazı durumlarda bir seçeneğin asıl hedeflenen ölçütte çok zayıf olmasına karşın en iyi seçenek olduğu durumlarla karşılaşılmasıdır. Bu durum seçimin doğruluğunu kuşkuyla hale getirir ve bir şekilde sağlanmasını gerektirir. Bu durum karşısında sağlamaya yönelik olarak seçeneklerin birbirlerine karşı birebir üstünlüklerini değerlendiren bir yöntemin kullanılması faydalı olacaktır. Bu amaçla üstünlük yöntemlerinin en temeli olan ELECTRE seçilmiştir. Yapılan uygulamada ELECTRE'nin kesin durumlarda aynı seçeneği verdiği, buna karşılık kuşkuyla durumlarda ise uygun alternatifini sunduğu saptanmıştır. Dolayısıyla uygulama sırasında uygun seçeneğin saptanması için Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ve gereken durumlarda ELECTRE yöntemlerinin ardışık olarak kullanılması çıkan sonuçların beraberce değerlendirilmesi ile kesin kararın verilmesi tavsiye edilir.

Yukarıda verilen karar verme yönteminin uygulanması ile her bir hata sebebi için hatanın ortaya çıkması durumunda oluşacak maliyet, bu sebebi ortadan kaldırmaya yönelik olarak ideal önlem ve bu önlemin maliyetini içeren bir matris oluşturulur. Bundan sonra yaşamsal risk taşıyan konularda mutlaka iyileştirme yapılır. Diğer sebepler için ise hata ve önleme maliyetleri kıyaslaması ile optimum maliyeti oluşturacak çözüm aranır. Bu yaklaşım ile Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi Hata Türü, Etki ve Önlem Analizi haline gelmiştir. Bu şekilde yeni yöntem; sonuç odaklı, matematik bir modele göre objektif kriterler çerçevesinde karar veren, hatalarla önlemleri birbirine bağlayan daha kullanışlı ve yararlı bir hal almıştır.

A NEW DECISION MAKING MODEL FOR FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

SUMMARY

“Although your country has that many hard working people using the latest information and these people can adopt the changes easily, we can not understand why you always struggle with the economic crisis”. We hear these words very often when we start to improve our relationship with the foreigners. The main reason for our country's economic and political situation is the lack of strategic planning for the improvement of foreign trade. The people in charge of the management of the country are unfortunately not completely aware of the importance of these kind of planning and supporting of the selected sectors. Although, some enterprising people and groups have no support and also they have many difficulties, they have completely understood the importance of foreign trade for the improvement of the country and they are competing successfully with the big and important companies all over the world.

When competition, especially international competition is mentioned, three main issues shows themselves; Price, Quality and Delivery on Time. It's now very obvious that the improvement on the price and quality can not be done by the only application of controlling techniques. Now, it is time to apply the techniques which prevents the failures to happen or to detect before reaching the customer. In fact, it should be started by comprehending the customer's expectations correctly and using the right tools which can transfer these expectations to technical specifications. For these kind of studies Quality Function Deployment and similar tools are used but these kind of tools are mostly the concern of the companies which does international marketing with their own brands. This, does not mean that, these techniques can not be used by the companies which has local targets. But it is preferable for these sized companies to improve their product design and the production processes. In fact, it is going to be a very useful pre-study for these firms for the preparation to international competition. Our country is stated to be in the second category, in the international competition. Unfortunately, as a country, we are in the international competition with a limited number of companies on white goods, textile, rubber tire and machinery production. This situation states that it is much better for the Turkish companies to concentrate on the tools of the second category. The most importants of these tools are Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), SPC, Six Sigma. FMEA mainly aims the perfection of designs, SPC supports the improvement of production processes and Six Sigma gives a systematic for the problem solving. In fact, the most important step of this flow is design. It is very clear that if some precautions are taken at the design step, this will help the failurless production and products. For this reason, as a method for obtaining failurless products, FMEA should be used very often in a correct way by all the companies.

FMEA is developed by American companies who has lost their power against the better quality and cheaper Japanese products in 1970's. Ford and General Motors are

the first users of this tool in the second half of 1970's; in 1980's it became more popular in the international field and in 1990's this method was started to be used in our country, too. On the literature survey, not many source can be found on this issue. Besides some published books and articles on Quality Journals, the most important sources that could be found are the training and informational documents of some companies like, Ford, GM and Arcelik and some academic studies which were published on different medias.

This methodology was first used on the design step, but later same improvements that are mostly related with the evaluation of causes of failures were done and now it is applicable on system, process and service. Nowadays, there are some laws about "Product Liability" and "Producer Responsibility". With these regulations, a product has to prove its faultlessness or has to prove that all the precautions on the processes were taken to obtain a faultless product, when a problem is occurred. In some cases the application of this methodology is becoming a must to fulfil the requirements of some regulations. For example, the companies that produces lifts and lift components in Germany can demonstrate that they keep their design and production operations under control by using these tools.

The application of the Failure Mode and Effect Analysis methodology on a case is proceeded by a team. During the whole study, the first step is identifying the potential failure modes. Then, the effects and the causes of these failure modes are assumed. Each cause is evaluated against probability (the frequency of the failure), severity (the seriousness of the effect) and detectability (the probability of realizing the failure before reaching the user) by using a scale from 1 to 5 or 10. After this evaluation, these points are multiplied and a Risk Priority Index (RPI) is calculated for each cause. And then, a limit value which should be identified according to a statistical confidence level is pointed and some improvements for the failures whose RPI's are above this limit should be done. Improvements are generally handled by different people or teams that are charged by the FMEA Team. After finishing the improvements, FMEA team evaluates the causes again according to the recent situation. If all the RPI's are below the limit that means the study is completed. Application of FMEA is a living methodology, it starts with the design, goes on with the design of production processes and ends with the approval of the product. Changes and new ideas should be inserted into the study by revisions through the whole flow.

The most critized points of the methodology are subjectivity of the evaluations in terms of probability, severity and detectability and the gap between the evaluations and improvements.

New methods to improve these weaknesses are searched during this thesis study. One of the most important priority while doing this was that the new methodology should be as reasonable and user friendly as possible. In order to achieve these goals, it was decided that it would be better if the same team identifies the improvements as well as reasons. This will make the relation between evaluation and improvement phases stronger than the existing system. Than, attributes to evaluate these alternatives are decided. Cost, efficiency, productivity, level of improvement can be used as these attributes. In order to decrease the subjectivity if is preferable to use yes/no, strong/weak type scales. After identifying the alternatives and attributes, these alternatives are evaluated against attributes. By this way, decision making phase of the methodology becomes more objective.

method of decision making. In order to decide a system another survey was done on the theory of decision making. After proceeding this, it is decided that Simple Additive Weighting can be a convenient method when discrete alternatives exists like our problem. But on some cases, the alternative which is stronger than the others on the main target may go down because of the weights of the other alternatives. This situation brings some questions regarding the reliability of the choice. At this point another methodology should be used for proofing. A methodology that seeks the out rankings between the alternatives would be a good solution for this. For this reason ELECTRE which is the basic methodology of Outranking Methods is selected. On the application phase of the study it is obviously understood that ELECTRE gives the same alternative for the definite items but gives alternative solutions for uncertain issues. So, it is recommended to evaluate the alternatives together after applying Simple Weighted Average and if necessary ELECTRE Methods consequently.

After applying above mentioned methodology, a new matrix including failure costs, improvement activity to overcome this failure and the cost of the improvement is obtained. Then it should be decided that all the points that have vital risk must be improved. For the other causes an optimum solution should be chosen by evaluating failure and improvement costs.

By proceeding the above mentioned improvements Failure Mode and Effect Analysis Methodology should be named as Failure Mode Effect and Prevention Analysis. Additionally the methodology is now much more solution based, selecting the best alternative more objectively than the past and establishing strong relations between failures and improvements.

1. GİRİŞ

Günümüzde, küresel rekabetin getirdiği artan bir ivme ile baskısı çoğalan üç temel talep, düşük fiyat, yüksek kalite düzeyi ve zamanında teslimidir. Düşük fiyat ve zamanında teslimeye yönelik olarak geliştirilen onlarca teknik ve yürütülen değişik uygulamalar vardır. Tez kapsamında zamanında teslim konusunun üzerinde fazla durulmadan, salt ürünün kendisine yönelik yüksek kalite düzeyi ve buna bağlı olarak maliyet konusu üzerinde yoğunlaşılacaktır. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında yaşanan gelişmeler daha önceleri maliyet artırıcı olduğu düşünülen yüksek kalite düzeyinin, bu amaca yönelik tekniklerin doğru kullanımı ile olumlu yönde etkilendiğini ortaya koymuştur. Aslında yüksek kalite düzeyi tanımı tek başına çok genel bir ifade taşır. Tam olarak anlaşılabilmesi ve üzerinde çalışılabilmesi için değişik fazlara ayrıştırılması yararlı olacaktır. Bu ayrıştırma üç ana başlık altında yapılabilir (Juran, 1999).

- Pazar ve kullanıcı (tüketici) taleplerinin algılanması ve teknik boyuta indirgenmesi
- Tanımlanmış beklentileri karşılayabilecek tasarımların ortaya konması
- Üretim kalitesi. Bu başlık, üretime ilave olarak üretimden müşterinin ürünü kullanım dışı bırakmasına kadar geçen tüm evrelerin yüksek kalite düzeyinde olmasını da içerir.

Son yıllarda bu ayrıştırmaya ürünün elden çıkarılması aşaması da eklenmiştir. Kullanıcılar kullanım ömrü tamamlanan ürünleri herhangi bir sıkıntı yaşamadan bertaraf edebilmelidirler.

Tez kapsamında, daha çok tasarım ve üretime geçiş aşamalarında kullanılan önleyici bir teknik olan Hata Türü ve Etkileri Analizi üzerinde bir çalışma yürütülecektir. Sözkonusu teknik başta tasarım sırasında olmak üzere potansiyel hataları ortaya çıkarma ve olabildiğince ortadan kaldırmaya yöneliktir. Çeşitli kaynaklarda, tekniğin temel zayıf noktasının, karar verme aşamasının bir miktar subjektif olduğu yönünde görüşler vardır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Hata Türü ve Etkileri

Analizi yönteminin karar aşamasında Karar Analisti ve Karar Vericinin geçmiş tecrübesi çok etkin bir rol üstlenmektedir. Bu çalışma kapsamında bu etkinin olabildiğince azaltılması ve matematik bir baza indirgemesi hedeflenmiştir.

Konunun genel bütünlüğünü sağlamak için detay bazdaki incelemelere geçmeden, “Kalite”nin genel tanımını ve günümüze kadar olan süreçteki adımları özet olarak ele almak yararlı olacaktır. “Kalite nedir?” sorusunun cevabı arandığında konu hakkında çok değişik yorumlar olmakla beraber tümünün yöneldiği noktanın aynı olduğu görülür. Aşağıda, kalite konusunda küresel seviyede tanınan ve saygınlık kazanmış kişilerin yorumları verilmiştir.

CROSBY

Kalite denince ilk akla gelen kabuller olan iyi, lüks, parlak veya ağır nitelermeleri yanıltır. “Kalite” kelimesi nesnelerin ilgili durumlarını tanımlamak üzere “iyi kalitede” “kötü kalitede” şeklinde kullanılır ve en güncel tanımlama “yaşam kalitesi” dir. “Yaşam kalitesi” öyle bir klişedir ki her dinleyici bu ifadeyi kullanan kişinin tam olarak kendisinin anladığını ifade ettiğini kabul eder. Bu nedenle kaliteyi “ihtiyaçlara uygunluk” şeklinde tanımlamamız gerekir.

İş dünyası için de aynı şey geçerlidir. İhtiyaçlar yanlış anlaşılmayacak şekilde açıkça tanımlanmalıdır. Takiben bu ihtiyaçlara uygunluğu saptayabilmek için sürekli olarak ölçme yapılmalıdır. Saptanan uygunsuzluklar kalitesizliklerdir. Bu şekilde kalite problemleri uygunsuzluk problemleri haline gelir ve tanımlanabilir. (Crosby, 1980).

DEMING

Kaliteyi tanımlamadaki temel zorluk kullanıcıların gelecekteki ihtiyaçlarını ölçülebilir karakteristikler haline getirmektir ki bir ürün kullanıcıların belli bir bedel ödeyebilecekleri şekilde tasarlanıp üretilsinsin. Bu çok kolay değildir. Tam ihtiyaçlar tamamen karşılandı derken, kullanıcıların beklentilerinin değiştiği, pazara yeni üreticilerin girdiği, yeni malzemelerin ortaya çıktığı, daha ucuz alternatiflerin geliştiği görülür.

Kalite nedir? Kalite ancak bazı yardımcı ifadelerle tanımlanabilir. Kalitenin tanımında hakem kim olacaktır?

Bir üretim işçisi için kaliteli üretim ancak yaptığı işten gurur duyması ile gerçekleştirilebilir. Böyle bir kişi için kötü kalite, işini kaybetmesi, iyi kalite ise işin devamı diye algılanabilir. Bir üretim müdürü için ise tanımlı özellikler karşılayan üretim adedidir. Genel ifade ile kalite müşteri tatmini ile tanımlanmalıdır (Deming, 1986).

FEIGENBAUM

Kalitede belirleyici müşteridir, tasarlayan mühendis, pazarlamacı veya yönetim değildir. Kalite müşterinin beklentileri (belirlenmiş olsun veya olmasın, tam olarak farkında olunsun veya hissedilsin, teknik olarak ele alnabilsin veya hissi olsun) karşısında ürünün gerçek durumunun karşılaştırılmasıdır ve rekabetçi pazarlarda sürekli değişen bir hedef konumundadır.

Ürün veya hizmet kalitesi, ürünün veya hizmetin pazarlama, mühendislik, üretim ve bakım karakteristiklerinin bir bütünü olup, müşteri beklentilerinin ne kadarıyla karşılandığıdır. (Feigenbaum, 1991)

ISHIKAWA

Kalite kontrolünü müşterinin gereksinimlerini tatmin etmek için kullanmalıyız. Sadece ulusal standartları karşılamak yeterli değildir. Müşteri oryantasyonunu önemli kılmalıyız. Bugüne kadarki anlayışta üreticiler müşterilere kendi ürünlerini satmakla bir iyilik yaptıklarını düşünmekteydiler ki bu “ürün çıktılı” çalışma tarzı olarak adlandırılabilir. Bunun yerine müşteri beklentilerinin üst seviyede dikkate alındığı “pazar girdili” sistem amaçlanmalıdır. Üreticiler, müşterilerin isteklerini ve düşüncelerini iyice etüd edip buna uygun ürünler tasarlamalı, üretmeli ve satmalıdır. Dar kapsamda kalite sadece ürün kalitesi olarak düşünülebilir; geniş kapsamda ise yapılan işin kalitesidir. Servisin kalitesi, bilginin kalitesi, süreç kalitesi, bölüm, insan, işçi, yönetici, sistem şirket ve hedeflerin kalitesidir. (Ishikawa, 1999)

JURAN

Kalite kelimesi çok değişik anlamlar ifade eder. Şu iki tarif en etkin tanımlamalardır. 1. Kalite kullanıcının ihtiyacı olan ve böylelikle müşteri tatminini sağlayan ürün özellikleridir. 2. Kalite hatalardan arınmış olmaktır. Bu konuda

iki genel tanımlamayı içerir. Kalite “kullanıma uygunluktur”. (Juran, 1999)

SHEWHART

Temel olarak kalitenin biri kullanıcıdan bağımsız, diğeri ise hissedilen ve farkedilen olmak üzere iki yönü vardır. Başka bir deyişle kalitenin subjektif bir tarafı vardır. Beklentilerden bağımsız olarak bir şeyin iyiliğini tanımlamak mümkün değildir. Aslında, kalitenin subjektif olan bu durumu, objenin objektif özellikleri ve değeri ile de yakından ilgilidir.

Çoğu zaman objektif kalite karakteristikleri fizik kanunları ile tanımlanabilir.

Kaliteyi subjektif yönlerden ele aldığımızda asıl zorluklar başlar. Başlangıç için değişik türleri tanımlanabilir. Aşağıdaki değer türleri ile çeşitlendirmeler yapmak gerekir. 1. Kullanım, 2. Maliyet, 3. Güven, 4. Değiştirme.

Üretim sırasında kaliteyi kontrol etmek için kantitatif standartlar tanımlamak gerekir. Dolayısıyla, bugüne kadar, kantitatif olarak ölçülebilir fiziksel özellikler tanımlamaya çalıştık. Ancak bu kalitenin kalitatif yönü ile ilgilenilmemesi anlamına gelmiyor. Diğer yönden kalitatif taraf için ticari kısmını ilgilendiriyor.

Olaya geniş olarak bakıldığında hammaddelerin işlenip bitmiş ürün haline getirilmesi ile karşılanacak belirli kullanıcı beklentileri vardır. Tek bir kullanıcının beklentisinin tüm kullanıcıların beklentileri ile aynı olması da istatistiksel anlamda mümkün değildir.

Bu durumda bir mühendis için ilk adım bu beklentileri tatmin edecek ürünler ortaya çıkarabilecek şekilde istekleri fiziksel karakteristikler haline dönüştürmektir. Bu aşamada kapsamlı bilginin yanısıra bireylerin ve kitlelerin beklentilerini de katabilecek anlayış ve muhakeme yeteneği önemli bir rol oynar. İkinci adım da teknik bir tabanı olmayan, standartlardan farklılık yaratacak kalite karakteristiklerini elde etmeyi şansa bırakmayacak yollar tanımlamaktır.

TAGUCHI

Kalitesizlik herhangi bir ürünün sevkıyatı sonrasında, normal kullanımı sırasında oluşan kaybın ötesinde, toplumda yarattığı toplam kayıptır (Taguchi, 1973).

Yukarıda verilen özet tanımlamalarda otoritelerin ortak olarak birleştikleri nokta “kalitenin” müşteri beklentileri ile birlikte düşünülmesi gerekliliğidir. Tek başına soyut bir kalite kavramı düşünülemez.

Genel tanımlamalardan sonra kalite kavramının tarihsel gelişmesine bakıldığında aşağıdaki kronoloji ortaya çıkar.

Kalite ile ilgili ilk kayıtlar M.Ö. 2150 yılına kadar uzanır. Ünlü Hammurabi Kanunlarının 229. maddesinde şu hükme yer verilmiştir:

“Eğer bir inşaat ustası bir adama ev yapar ve yapılan ev yeterince sağlam olmayıp üstüne çökerek ölümüne neden olursa o inşaat ustasının başı vurulur.”

Fenike’lilerde de oldukça etkili yaptırım yolları olduğu anlaşıyor: Fenike’li bir denetçi, kalite standartlarına bir aykırılık gördüğünde, bunun tekrarlanmasını kesinlikle önlemek için kusurlu malı imal edenin elini kesme yetkisine sahipti.

Kalitenin bir kavram olarak ortaya çıkması 19. yüzyıla rastlar. Bu dönemde üreticiler kalite bilinciyle, ürünlerine kendi markalarını vermaktan gurur duymaya başlamışlardır.

Frederick Taylor’ın İngiltere’de iş planlamasını işçi ve ustabaşların inisiyatifinden alıp, endüstri mühendislerinin kontrolüne vermesi ile başlattığı uygulama, sanayi devriminin tohumlarını atmıştır.

Ancak en büyük değişimler ve bunları yaratan buluşlar ABD’de ortaya çıkmıştır.

Eli Whitney’in “Değiştirilebilir Parçalar Yöntemiyle Kitle Üretiminde (mass production) Amerikan Sistemi”ni geliştirmesi, üretim sisteminde köklü değişikliklere yol açmıştır.

Henry Ford 1907’de daha büyük bir atılım yaparak üretim sisteminde bir devrim yaratacak yöntemi geliştirmiştir.

Bu yöntem, hareket eden bir montaj bantının üretim tesisine uygulanması ve karmaşık üretim prosedürünün ucuz ve niteliksiz iş gücü ile gerçekleştirilebilecek basit ve küçük işlemlere bölünmesi, olarak özetlenebilir. Bu gelişme, iyi malı kötüünden ayıracak bağımsız bir denetim uygulamasını da beraberinde getirmiş, kalite artık üretimin bir parçası haline gelmeye başlamıştır.

kalite kontrolunun temelini atmıştır. Bu sayede seri üretimde kalitenin ekonomik bir şekilde kontrol edilmesine imkan sağlanmıştır.

1926 yılında George Edwards, kalitenin gelecekteki satışlar için hayati önem kazanacağını önceden sezebilmiş, etkili bir kalite kontrol uygulayamayan firmaların rekabet şansını yitireceğini öne sürmüştür.

W.A. Shewart ve G. Edwards, “Kalite Mühendisliği” ve “İstatistiksel Kalite Kontrol” kavramlarının babaları olarak adlandırılabilirler.

1930’lu yıllarda Waldo Vezlau ve Joseph V. Talacko, kusurları büyükten küçüğe doğru bir sıra içinde sınıflandırarak problemlerin çözümünde önceliklerin belirlenmesi ilkesini getirmişlerdir. “Pareto İlkesi” adı verilen bu ilke çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

II. Dünya Savaşı’nın kalite teknolojisinin gelişimini hızlandırdığı bir gerçektir. Bu dönem, kalite konusundaki başarısızlık nedeniyle çok sayıda insanın ölümüne hatta bazı cephelerde savaşın yitirildiğine tanık olunan bir zamana rastlamaktadır.

Patlamayan torpil ve bombalara, ateş almayan mermilere %100 muayene yönteminin çözüm getiremediği görülmüştür. Harold F.Dodge ve Harry G.Roming tarafından geliştirilen numune alma çizelgeleri, %100 kontrol zorunluluğunu ortadan kaldırarak numune alma istatistliğini basite indirmiştir.

Amerika’da savaş sırasında, kalite kontrol teknolojisi ülke çapında yaygınlaştırılmış, bu arada sanayi kuruluşlarının gizli tuttukları teknoloji ve yöntemler, savaşla birlikte serbestçe aktarılabilen bilgiler haline gelmiştir. 1946’da Amerikan Kalite Kontrol Kurumu’nun (ASQC – American Society for Quality Control) kurulmasıyla temel kalite kavramlarının gelişmesi için daha elverişli bir ortam oluşmuştur. 1990’lı yıllarda bu kurum ASQ, American Society for Quality adını almıştır.

II. Dünya Savaşı sırasında Batı Dünyasında iki farklı görünüm vardı. Yanmış, yıkılmış bir Avrupa ve topraklarında savaşın yıkıntıları görünmeyen, endüstri üretimi en üst düzeyde bulunan Kuzey Amerika (ABD ve Kanada). Ayrıca savaş yıllarında Kuzey Amerika’da otomobil, elektrikli ev araçları gibi dayanıklı tüketim mallarının üretimi durdurulmuş, savaşla ilgili mallar üretilmişti. Dolayısıyla Amerika’da ne üretilirse hem Amerikalılar, hem Avrupalılar, hem de bütün dünya

düşmeye başlamıştı. Önemli olan söz verilen süre içerisinde malı tüketiciye ulaştırmaktı. Bu tüketim açlığı 1940'lı yılların sonuna kadar sürdü. Ancak bu dönemde yerleşen yanlış alışkanlıkların etkisi 40 yıl daha devam etti.

Böyle bir ortamda Deming, Juran gibi kalite kuramcılarını dinleyen de pek olmadı. Bu ve benzer isimlerin gerçek değerleri, söyledikleri Japonya'da kanıtlandıktan sonra ortaya çıktı ve adeta varlıkları A.B.D.'de yeniden keşfedildi. Ancak bu arada Amerika ve onun izleyicisi olan diğer Batılı ülkeler, kalite anlayışı konusunda oldukça geri kaldılar ve ancak 1970'li yıllardan itibaren Japonların kalite (ve dolayısı ile maliyet üstünlüğü) konusunda kendilerini geçtiğini anlayabildiler.

II. Dünya Savaşı'ndan sonra kalite bilimi doğrultusunda atılan adımlar şöyle özetlenebilir:

ABD işgal kuvvetleri Japonya'ya ayak bastığı zaman önemli bir engelle karşılaşmışlardı; Japon telefon ağı güvenilir durumda değildi, sık sık aksaklıklar oluyordu. Kullanılan malzeme kalitesiz ve standart dışıydı.

A.B.D. kuvvetleri Japon telekomünikasyon sektörüne modern kalite kontrol yöntemleri kullanma talimatı verdi. Böylece Mayıs 1946'da Japonya'da İstatistiksel Kalite Kontrol başlamış oldu. Hiç bir uyarılma yapılmadan öğretilen Amerikan yöntemleri öbür sektörlerle de yayılmıştı.

O sıralarda, Japonya kalite ile değil, maliyet ve fiyatla rekabet ediyordu; ucuz ve kalitesiz ürünlerin çağıydı. II. Dünya savaşı yenilgisi hemen hemen tüm sektörleri etkilemiş, hatta bazı sektörler yok olmuştu.

Japon Standartlar Birliği'nin ve Japon Endüstriyel Standartlar Komitesi (JISC)'nin kuruluşundan sonra 1949'da Endüstriyel Standardizasyon Yasası yürürlüğe girmiş ve aynı dönemde bu yasaya dayanarak JIS Kalite Damgası sistemi başlatılmıştır.

1946'da mühendisler ve bilim adamlarınca kurulmuş olan Japon Bilim Adamları ve Mühendisleri Birliği (JUSE), 1949'da üniversitelerden, sanayi ve kamu kesimlerinden üyelerin oluşturduğu Kalite Kontrol Araştırma Grubu'nu (QCRG) kurmuştur. Önceleri Amerikan ve İngiliz Standartlarının çevirisi ile uğraşan Grup, bir Japon yönteminin önemine inanıp çeviriyi bir yana bırakarak kendi metinlerini yazmaya başlamıştır.

JUSE 1950’de, ABD’den Dr. Edwards Deming’i konuşmacı olarak çağırıldığı bir seminer düzenlemişti. Mühendisler için Kalite Kontrol konulu seminere katılanlar, kalite kontrolün önemini kavramışlardı. 1951 ve 1952’de Japonya’yı yeniden ziyaret eden Deming, sonraları da sık sık uğradığı bu ülkede sanayi kesiminde çalışanları ve halkı, kalite kontrol konusunda eğitmeye devam etti.

1950’lerin başlarında Dr. Armand V. Feigenbaum ve ekibi, bir Kalite Maliyet Sistemi geliştirdiler. Bu çalışma, kalite uzmanlarının sözlüğüne “Önleyici Maliyetler”, “Ölçme Değerlendirme Maliyetleri”, “İç Başarısızlık Maliyeti”, “Dış Başarısızlık Maliyeti” gibi yeni terimler kazandırdı. Bu yeni terminoloji sayesinde kalite uzmanları, üst yönetimin kolayca anlayabileceği bir “Dolar Dili “ ile konuşma imkanına kavuşmuşlardır.

Toplam Kalite Kontrol anlayışı, ilk kez Dr. Armand V. Feigenbaum tarafından ortaya atılmakla birlikte Japonların yaklaşımı daha farklı ve insani yönü daha ağırlıklı olmuştur.

JUSE 1954’de A.B.D.’ den bu kez Dr. Joseph M. Juran’ı davet etti. Üst ve orta düzey yöneticilere, kalite kontrol çalışmalarında kendilerine düşen rolü anlatan Juran, büyük bir etki yarattı.

Juran, Kalite Kontrolün fabrikalarda yalnızca teknoloji ağırlıklı bir çalışma olmaktan çok, tüm yönetimi ilgilendiren bir kavram olduğunun anlaşılmasını sağlamış ve Toplam Kalite Kontrolün bugünkü haline gelmesi için bir kapı açmıştır.

Kore Savaşı ve uzay çağına adım atılması kalitenin gelişmesini yeniden hızlandırmıştır. 1950’ler, kamunun tükettiği ürünlerin kalitesini belirleyen düzenlemelerin artış gösterdiği bir dönemdir. “Hizmet Sanayiinde Kalite Güvencesi” kavramı bu sıralarda şekillenmeye başlamıştır.

Kalite kontrolü tanıyan Japonlar, A.B.D. ve Avrupa’daki bu yaygın görüşe karşılık, muayeneye güvenmek yerine hatalı ürünlere yol açan faktörlerin kontrol altına alınması gerektiği görüşünü benimsemişlerdir.

Batılılar 1950’li yıllarda bildikleri gibi üretim satarken, Japonlar Toplam Kalite Kontrol felsefesini sanayilerine yerleştirmeye çalışıyorlardı. 1960’lı yılların başında bu konuda epey yol alınmıştı. En üst düzey yöneticilerden orta kademe yöneticilere, mühendis ve teknisyenlere kadar bu felsefe benimsenmişti. Ancak bu arada kesin

istenen kalitede ürünleri üretmenin olanaksız olduğuydu.

Japonlar, çalışanlar arasında kalite bilincini geliştirmek için 1950’li yıllarda dergiler yayınladılar ve radyo yayınları yaptılar. Ancak bu yayınların düzeyi ustabaşı ve işçilere ağır geldiğinden, 1962’de özellikle bu gruba yönelik, Ustabaşı için Kalite Kontrol dergisi yayınlanmaya başlandı. Bu yayın ile birlikte Toplam Kalite Kontrol felsefesini ustabaşı ve işçilere kadar uzatan yepyeni bir kavram ortaya atıldı: “Kalite Kontrol Çemberi” ya da kısaca “Kalite Çemberi” .

Derginin Yayın Kurulu Başkanı Dr. Kaoru Ishikawa idi. Dr. Ishikawa o tarihlerde Kalite Kontrol Çemberini şöyle tanımlıyordu:

“Kalite Kontrol Çemberi, aynı bölümde çalışan kişilerden oluşan ve Kalite Kontrol faaliyetinde bulunan küçük bir gönüllüler grubudur. Bu küçük grup Şirket Çapında Kalite Kontrol (Toplam Kalite Kontrol) faaliyetlerinin bir parçası olarak, kişilerin kendilerini ve birbirlerini geliştirmelerini, bölüm içinde kontrol ve gelişme sağlamayı, kalite kontrol tekniklerini kullanmayı, bütün üyelerinin katılımıyla sürekli olarak sağlar” .

Tanımdan da anlaşılacağı gibi kalite kontrol olayının ancak herkesin katılımıyla başarılabilceği inancı, Kalite Çemberinin, Şirket Çapında Kalite Kontrol düşüncesine eklenmesiyle tamamlanmış oluyordu. Kalite Çemberi sadece bir kalite kontrol sistemi de değildi. Bu sistemde insanların motivasyonuna büyük önem verililiyordu.

Kalite Çemberinin tasarımıda esas alınan unsurların hemen tümü, kişilere işini sevdirmeye ve işi zevkle yaptırmaya yöneliktir.

Kalite Çemberleri, 1962’den bugüne kadar, kendinden beklenen işlevleri yerine getirdiler ve Japon ürünlerinin kalite ve maliyet alanında sağladığı üstünlüğün esas unsurlarından biri oldular. Japonya’da bugün 1- 1.2 milyon çember ve 25 milyona yakın üye olduğu sanılmaktadır.

Kalite Çemberleri gerçeği batılılarca da anlaşılınca, Batı’da kalite çemberine olan ilgi de arttı.

ADD de ilk çemberler 1974 de Lockheed ve Honeywell irketlerinde kuruldu ve hızla yayıldı. 1980 sonrasında IBM, Motorola gibi firmalar Kalite çemberlerini, yeniden doğuşlarının en etkin aracı olarak kullandılar.

Yurdumuzda ise, 1983’de Koç, 1986’da Şişe Cam Toplulukları, Türkiye’de bu konunun öncü uygulayıcıları olarak Kalite emberleri faaliyetlerini başlattılar.

Ancak gerek sendikal engellemeler, gerekse Toplam Kalite desteğinden yoksun kalmaları nedeniyle, her iki kuruluşta da Kalite emberi bir süre sonra dağıldı. Toplam Kalite Kavramı güncelleşene kadar Kalite emberleri faaliyetleri çok sınırlı kaldı. 1990’lardan sonra daha önceki hastalıklar değerlendirilerek özellikle Koç ve Sabancı topluluklarından başlayan bir akım olarak “Kalite emberleri” ve “İyileştirme Grupları” tekrar canlandırılıp günümüzde de etkin olarak uygulanmaktadır. Kalite emberlerinin, Toplam Kalite’nin temel taşı; “olmazsa olmaz” denli önemli bir ögesi olduğu anlaşıldığında, bu konudaki faaliyetlere tekrar ivme kazandırılmaya başlandı.

Günümüzde Değer Analizi (Value Analysis), Tam Zamanında Üretim (Just-In-Time), İstatistik Proses Kontrol (İPK), Taguchi Methodları, HTEA (Hata türü ve Etkileri Analizi), KFA (Kalite Fonksiyon Açınımı), Altı Sigma gibi kalite kavramları dünyada ve yurdumuzda neredeyse aynı anda popülerlik kazanmakta, hatta yan sanayi düzeyinde uygulanabilmektedir

Japonların “Kalite emberleri” olgusunu geliştirdikleri dönemde, A.B.D.’ de Philip Crosby “Sıfır Hata” kavramını ortaya attı. Bilgisayarların yaygınlaşmaya başladığı uzay ve askeri sahada doğu bloku ile rekabetin keskinleştiğı bu yıllarda Crosby’nin kavramı büyük ilgi gördü.

Ancak takibeden yıllarda geliştirilen, hatalı ürünlere yol açabilecek faktörlerin prosedür ve talimatlarla önlenmesi diye adlandırılabilcek “Kalite Güvencesi” ekolü de son zamanlarda yetersiz kalmış, Toplam Kalite Kontrol (TKK) Sistemi ağırlık kazanmıştır. 80’li yılların başından itibaren global rekabetin de baskısıyla TKK uygulamasına geçen firma sayısı artan bir ivme ile hız kazanmıştır. Bu yıllar kalite kavramını üretimden yönetim kademelerine taşımıştır. Kalite güçlü bir pazarlama silahı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fakat 90’larda kalite artık kazanılmış bir hak olarak algılanmaya başlanmış ve daha önceleri rekabet unsuru olarak avantaj

sağlayan kalite zaten varolan bir parametre olarak alınılarak tekrar fiyatlar üzerine dönmüştür.

90'lı yıllar, dünyada ve ülkemizde “Toplam Kalite Kontrol”ü içerecek şekilde, bu yündeki uygulamaları firmaların tasarımı, üretim ve kalite kontrol birimlerinin ötesinde tüm fonksiyon ve süreçlerde kullanarak topyekün etkinliği arttıracak “İş Mükemmelliği” modellerinin önem kazandığı dönem olmuştur.

Bu yönde Japonya’da uygulanmakta olan Deming Ödülü’nden hareketle Kuzey Amerika’da oluşturulan “Malcolm Baldrige” ve Avrupa’da uygulanan “EFQM” Modelleri ve Ödülleri ön plana çıkmıştır. Özellikle Malcolm Baldrige ve EFQM modelleri firmalara uygulamaya hazır İş Mükemmelliği modelleri sunmaktadır.

Yukarıda anlatılan ödöl organizasyonlarının temel hedefleri sırasıyla aşağıda verilmiştir (Vokurka ve diğ, 2000).

Deming Ödülü:

- Japon şirketlerinde toplam kalite kontrol kurallarını yerleştirmek
- Şirketlerde TKK doğrultusunda bir vizyon yerleştirmek ve çalışanların katılımını desteklemek

Malcolm Baldrige Ödülü:

- Amerikan şirketlerinin performans ve yeteneklerini yükseltmek
- Şirketler arasındaki iletişimi arttırmak ve en iyi örneklerin paylaşımını sağlamak
- Yönetim, performans değerlendirme, planlama, eğitim ve değerlendirme konularındaki yöntemlerin gelişimini sağlamak ve yaygınlığını arttırmak

Avrupa Kalite Yönetimi Vakfı (EFQM) Ödülü:

- Avrupalı organizasyonları müşteri tatminini artırma, çalışanların motivasyonunu artırma, toplum ve iş üzerindeki etkiyi artırma yönünden desteklemek ve yol göstermek

- Avrupa'lı yöneticileri, İKK uygulamalarını başlatmaları ve kuresel rekabet güçlerini arttırmaları yönünde desteklemek

Avrupa'da ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan model EFQM modeli olmuştur ve birçok Türk şirketi 1993-2001 yılları arasında her yıl ödül sürecinde yer alıp başarı göstermişlerdir (Hardjono ve diğ, 2001).

3. milenyum tüm dünyada mesafelerin kısaldığı, küreselleşmenin kendini gittikçe artan bir biçimde hissettirdiği yıllar olarak yönetim ve kalite anlayışlarında radikal değişikliklerle başdöndürücü bir şekilde başladı. Günümüzde artık firmalar mal üretiminden çok bilgi ve teknoloji üretimine odaklanıp, üretim fonksiyonlarını dışarda düşünmeye başlamışlardır. Bu yaklaşım da değişik ülkelerde, değişik işgücü yapısı ve ücret skalaları ile üretimi beraberinde getirmektedir. Bu tarz üretim yaklaşımı, rekabette çok değişik parametreler ortaya çıkarmakta. Bu noktada, insan faktörünü belirli düzenlemelerle en azından minimum insani gereksinimleri karşılayacak şekilde düzenleyecek yönde standartlar devreye girmeye başlamıştır. Bu standartlar değişik sektörler için değişik şekillerde hazırlanmakla beraber endüstriyel üretim sektörlerini en genel şekliyle içine alan standart olarak OHSAS 18001 verilebilir.

Görüldüğü üzere “Kalite” kavramının gelişimi 3000 yıla yakın bir geçmişe sahip olmakla beraber, son iki asırlık süreçte “insan” beklentilerinin artması, kalite konusunun ön plana çıkmasına ve artan bir ivme kazanmasına neden olmuştur. Burada temel husus, toplumlar, bireyler ve bunların beklentileridir ve “kalite” bu doğrultuda değerlendirilmelidir.

2. ÇAĞDAŞ KALİTE TEKNİKLERİ

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

Kontrole yönelik teknikler grubu altında

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

Önlemeye yönelik teknikler kısmında ise belli başlı olarak

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

konuları ele alınabilir.

Bunların dışında üçüncü bir kategori olarak ele alınabilecek ve yönetime yol gösterici olarak kullanılabilecek daha genel araçlar ise

- Kalite Maliyetleri Hesaplama ve Raporlamaları
- Dengelenmiş Gösterge Tablosu

ve benzeri olup, bu çalışma kapsamında ele alınmayacaklardır.

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

2.1 Kontrole Yönelik Teknikler

2.1.1 Muayene ve Deneyler

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 sözedebilmemiz için önce sözkonusu ürünün özelliklerinin önceden tanımlanmış olması gerekir. Bu gerekler, üretim öncesinde teknik dökümanlar 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 (CEN, CENELEC) tarafından yapılmakta olup üye ülkelerin standartları European Norm (EN) adı altında harmonize edilerek yayınlanmaktadır.

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.

gösterdiği değerler veya maddi ölçüt ile gösterilen değerler ile ölçülen büyüklüğün bunlara karşılık geldiği bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisidir (Bayraktaroğlu ve diğ, 1994). Bu ifade “herhangi bir ölçme ekipmanının doğruluğu bilinen başka bir ölçme ekipmanı ile karşılaştırılmasıdır” diye yalınlaştırılabilir. İzlenebilirlik ise, ölçüm sonucunun, uygun standartlara, genel olarak da uluslararası veya ulusal standartlara kesintisiz bir karşılaştırma zinciri ile bağlanabilmesidir (Bayraktaroğlu ve diğ, 1994). Ulusal standartlar ise belirli periyotlarla başka ülkelerin ulusal referansları ile karşılaştırılarak doğrulukları garanti altına alınır.

2.1.2 Örnekleme Planları

Değişik uygulamalarda yapılan muayenelerde, muayene edilen parçanın hatasının çok kritik olmaması ve üretim prosesinin 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 (Fiegenbaum, 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 (Griffith, 2000).

2.1.2.1 Tek Katlı Örnek Alma Planları

Tek katlı örnek alma planları en sık kullanılan ve standart uygulama haline gelen uygulama şeklidir (Griffith, 2000).

Burada önce muayeneye tabi tutulacak parının büyüklüğü dikkate alınır. Daha sonra parçanın kritikliği, kullanım yeri, hata durumundaki etkiler dikkate alınarak muayene seviyesi ve kritikliği belirlenir. Bu bilgiler ile parti büyüklüğüne karşı gelen kod harfi Tablo 2.1 den bulunur.

Bulunan harfin Tablo 2.2’de işaret ettiği sayı kadar numune tüm partinin içinden homojen bir şekilde alınır. Homojenlikten kasdedilen, tüm numunelerin aynı bölgeden veya sıradan olmaması tüm partiye yaygın olmasıdır. Daha sonra örnek partideki tüm parçalar ölçülür ve örnek Tablo 2.1 de verilen örnek büyüklüğüne göre Kabul Edilebilir Kalite Seviyesine karşılık gelen kabul / red adetlerine göre değerlendirme yapılır. Kabul Edilebilir Kalite Seviyesinin değeri genellikle söz konusu parça için teknik dökümanlarda tanımlanır.

Parti Büyüklüğü (N)	Özel Muayene Planı S1	Özel Muayene Planı S2	Özel Muayene Planı S3	Özel Muayene Planı S4	Genel Muayene Planı G-I	Genel Muayene Planı G-II	Genel Muayene Planı G-III
2-8	A	A	A	A	A	A	B
9-15	A	A	A	A	A	B	C
16-25	A	A	B	B	B	C	D
26-50	A	B	B	C	C	D	E
51-90	B	B	F	C	C	E	F
91-150	B	B	C	D	D	F	G
151-280	B	C	D	E	E	G	H
281-500	B	C	D	E	F	H	J
501-1.200	C	C	E	F	G	J	K
1.201-3.200	C	D	E	G	H	K	L
3.201-10.000	C	D	F	G	J	L	M
10.001-35.000	C	D	F	H	K	M	N
35.001-150.000	D	E	G	J	L	N	P
150.001- 500.000	D	E	G	J	M	P	Q
> 500.001	D	E	H	K	N	Q	R

Tablo 2.2 Tek katlı Örnek Alma Planı

örnek büyük lütü kod	örnek büyük lütü (n)	KABUL EDİLEBİLİR NİTELİK SEVİYESİ (KNS)									
		0,15		0,25		0,4		0,65		1,0	
		K	R	K	R	K	R	K	R	K	R
A	2	↓		↓		↓		↓		↓	
B	3	↓		↓		↓		↓		↓	
C	5	↓		↓		↓		↓		↓	
D	8	↓		↓		↓		↓		↓	
E	13	↓		↓		↓		↓		↓	
F	20	↓		↓		↓		↓		↓	
G	32	↓		↓		↓		↓		↓	
H	50	↓		↓		↓		↓		↓	
J	80	↓		↓		↓		↓		↓	
K	125	↓		↓		↓		↓		↓	
L	200	↓		↓		↓		↓		↓	
M	315	↓		↓		↓		↓		↓	
N	500	↓		↓		↓		↓		↓	
P	800	↓		↓		↓		↓		↓	
Q	1250	↓		↓		↓		↓		↓	
R	2000	↓		↓		↓		↓		↓	



Altaki ilk örnekleme planını uygula. Eğer örnek büyüklüğü eşit veya büyük ise partiyi %100 kontrol et.

Üstteki ilk örnekleme planını uygula.

K Kabul sayısı

R Red sayısı

2.1.2.2 Çift Katlı Örnek Alma Planları

Çift Katlı Örnek Alma Planları ürün kalitesinin iyi ve kötü arasında kolay ayırt edilebildiği durumlarda alınan örnek sayısını düşürmek ve hız ve maliyet avantajı sağlamak için kullanılırlar.

Bu uygulamada da önce Tablo 2.1 kullanılarak örnek partiyi temsil eden harf bulunur, daha sonra bu harfin Tablo 2.3 de işaret ettiği kadar örnek üzerinde muayene yapılır. Bunun sonucunda elde edilen kabul / red parçalar tablodaki sayılarla karşılaştırılarak partinin kabul / red kararı verilir. Örneklerden elde edilen

Tablo 2.3 Çift Katlı Örnek Alma Planı

örnek büyük lüğü kod	örnek büyük lüğü (n)	KABUL EDİLEBİLİR NİTELİK SEVİYESİ (KNS)							
		0,15	0,25	0,4	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0
		K R	K R	K R	K R	K R	K R	K R	K R
A	2	→	→	→	→	→	→	→	→
B	2	→	→	→	→	→	→	→	→
C	3	→	→	→	→	→	→	→	→
D	3	→	→	→	→	→	→	→	→
E	5	→	→	→	→	→	→	→	→
F	5	→	→	→	→	→	→	→	→
G	8	→	→	→	→	→	→	→	→
H	8	→	→	→	→	→	→	→	→
J	13	→	→	→	→	→	→	→	→
K	13	→	→	→	→	→	→	→	→
L	20	→	→	→	→	→	→	→	→
M	20	→	→	→	→	→	→	→	→
N	32	→	→	→	→	→	→	→	→
O	32	→	→	→	→	→	→	→	→
P	50	→	→	→	→	→	→	→	→
Q	50	→	→	→	→	→	→	→	→
R	80	→	→	→	→	→	→	→	→
S	80	→	→	→	→	→	→	→	→
T	125	→	→	→	→	→	→	→	→
U	125	→	→	→	→	→	→	→	→
V	200	→	→	→	→	→	→	→	→
W	200	→	→	→	→	→	→	→	→
X	315	→	→	→	→	→	→	→	→
Y	315	→	→	→	→	→	→	→	→
Z	500	→	→	→	→	→	→	→	→
AA	500	→	→	→	→	→	→	→	→
AB	800	→	→	→	→	→	→	→	→
AC	800	→	→	→	→	→	→	→	→
AD	1250	→	→	→	→	→	→	→	→
AE	1250	→	→	→	→	→	→	→	→

↑ Altaki ilk örnekleme planını uygula. Eğer örnek büyüklüğü eşit veya büyük ise partiyi %100 kontrol et.
 ↓ Üstteki ilk örnekleme planını uygula.
 K Kabul sayısı
 R Red sayısı

Değişken örnekleme planları ise normal dağılım tabanında hazırlanan tablolar olup endüstrideki kullanımları tek katlı veya çift katlı örnekleme planları kadar yaygın değildir (Griffith, 2000).

2.1.3 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. Acaba bu kabul her zaman doğru mudur?

Bu konuda kesin bir karara varabilmek için aşağıdaki üç sorunun sağlıklı bir şekilde cevaplandırılması gerekir.

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

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

Toplam Değişkenlik = Prosesin Değişkenliği + Ölçme Sisteminin Değişkenliği

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

Ölçme sisteminin belirsizliğine sebep olabilecek olası parametreler aşağıda verilmiştir:

1. Ekipmandan Kaynaklanan Problemler

- Mekanik kararsızlık
- Elektriksel kararsızlık
- Yıpranma

2. Metoddan 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 gerekir ve sonuçlara göre ölçme sisteminin sözkonusu karakteristiği yeterli güvenilirlikte ölçüp ölçemediğine 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 Ekipmanları Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Edilebilirlik Analizi (I&I 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

Ölçme sonuçlarının değerlendirilmesinde günümüzde ağırlıklı olarak bilgisayar programlarından yararlanılmaktadır. Kullanılan programlar arasında en yaygın Minitab'dır.

Bu tip programlar, kullanıcının tercihine göre Anova veya X - R Diyagramı metodunu kullanarak toplam değişkenlik içinde ölçme sisteminden gelen hatayı hesaplar ve toplam değişkenliğe oranını verir. Burada ölçme sisteminin değişkenliğinin toplam değişkenliğe oranının %30-40 mertebesini geçmemesi tavsiye edilir.

2.2 Önlemeye Yönelik Teknikler

2.2.1 Kalite Fonksiyon Açınımı

Kalite Fonksiyon Açınımı (KFA), müşteri talep ve ihtiyaçlarının ürün ve prosese uygulanabilecek teknik değerlere çevrilmesi işlemidir (Revelle ve diğ., 1998). Değişik kaynaklarda yöntem Kalite Fonksiyon Yayılımı veya Kalite Fonksiyon Çözünümlü gibi değişik tanımlamalarla da isimlendirilmektedir (Yazgaç, 1993). Uluslararası tanımlaması ile "Quality Function Deployment" dir (Cohen, 1995).

Yukarıda, KFA ile pazarın kalitatif taleplerinin, ürüne yönelik kantitatif parametrelere 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.

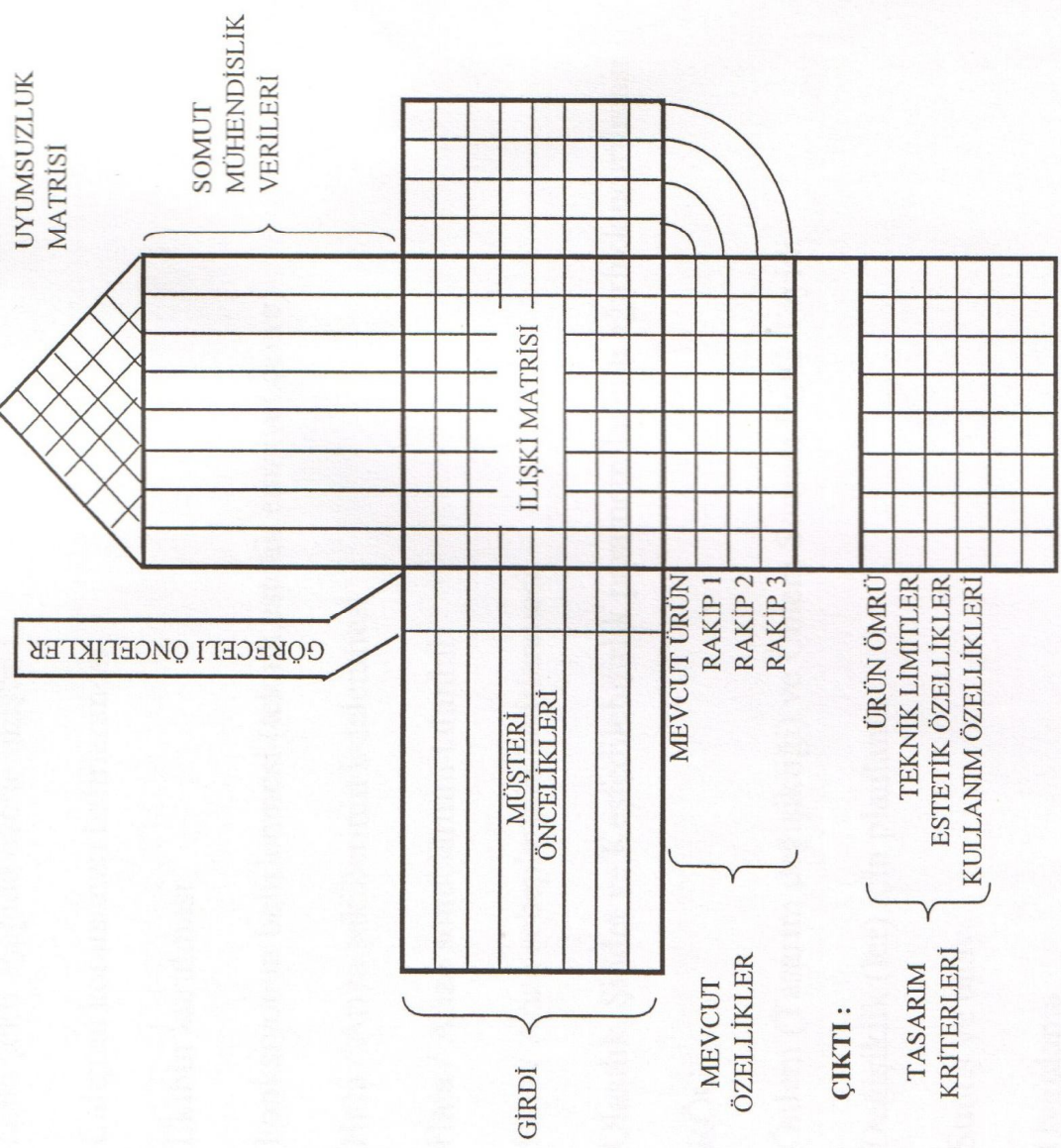
Yukarıda anlatılanlardan anlaşılacağı gibi, KFA karmaşık ve detaylı bir çalışma gerektirir. Pazarlama, mühendislik ve üretim yeteneklerinin ve bilgi birikiminin birarada koordinasyonunu gerektirmektedir. İlk kez 1972 de Japonya’da Mitsubishi’nin Kobe Tersanesi’nde kullanılan bu yöntem, bugün otomotiv, beyaz ve kahverengi eşya ile tekstil endüstrileri başta olmak üzere yaygın bir uygulama alanı bulmuştur.

Kalite Fonksiyon Açılımında müşteri istekleri ile teknik parametrelerin yanyana 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 birbiriyle çelişen beklenti veya teknik özellikler ortaya çıkmış olur. Kalite - Fonksiyon Matrisi (Şekil 2.1) bazı ilave bilgilerle zenginleştirilerek daha kullanışlı hale getirilebilir, bunlar;

- 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, Jopanya’da 70’lerin başında itibaren, ABD’de ise 86’dan beri kullanılmaktadır. Japonya’da hemen hemen tüm endüstrilerin yanısıra, tedarikçi, firmalar da KFA kullanılmaktadır. Örneğin Toyota’nın tedarikçi firmalarının tümü bu teknikten yararlanmaktadır (Yazgaç, 1993).

KFA işlemi, daha önce de 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 2.1 Kalite Fonksiyon Açınımı İlişki Matrisi

2.2.2 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 Dökümanlara” girmiştir. Daha sonra 1973 de ticari amaçlı uçak üreticileri de HTEA (FMEA) 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 başlanmış olup böylece Avrupa’daki uygulaması yaygınlaşmıştır.

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

yeterlilik hesapları proses kontrolü kapsamı içine girer.

İPK ile birlikte, kalite anlayışı “hata ayıklama işlemi” olmaktan kurtularak, “hata önleme prosedürü” haline dönüşmüştür. Kalite öncülerinden Deming’in, kitaplardan imalat sahasına adapte ettiği bu yaklaşımın Japonya’ nın rekabet savaşında en güçlü silahı olduğu kabul edilmektedir (Özellikle 1950-80 arası dönemde).

İstatistiksel Proses Kontrolü uygulamalarında temel iki yaklaşımdan bahsedilebilir.

2.2.3.1 Prosesin 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 (Fiegenbaum, 1991).

Kontrol tablolarının da en basit şekli takip çizelgeleridir (run charts).

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

Örneğin belediye otobüsünün durağa geliş zamanı takip edilmek isteniyorsa, önce hedef zaman düşey eksende tanımlanır, daha sonra kabul edilebilir sapma değerleri alt ve üst limit değerleri ile düşey eksende yerini alır. Örnekte durağa hedef varış zamanı 08.00 ve kabul edilebilir sapma 5 dakika önce veya sonra ise merkez eksenini 08.00 ve alt ve üst limitleri 7.55 ve 8.05 olan bir takip çizelgesi elde edilir. Takip faaliyetinin başlatılması ile çizelge üzerinde zamanla ilerleyen ve değişik noktalarda değerler işaretlenecektir. Belirli bir süre sonra bu işaretlerin sapmalarının ortalaması alınarak otobüs işletme prosesinin bir çıktısı olan durağa varış zamanının ortalama değeri de bulunur. Çizelgedeki üst ve alt limitlerin dışında kalan durumlar beklenmedik olayları temsil eder. Örneğin; lastik patlaması, aşırı yoğun trafik veya aşırı rahat trafik.

Üretim proseslerindeki operasyonlar sonrasında üründen beklenen teknik toleranslar dökümanite 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 proseslerin dağılımından hareketle

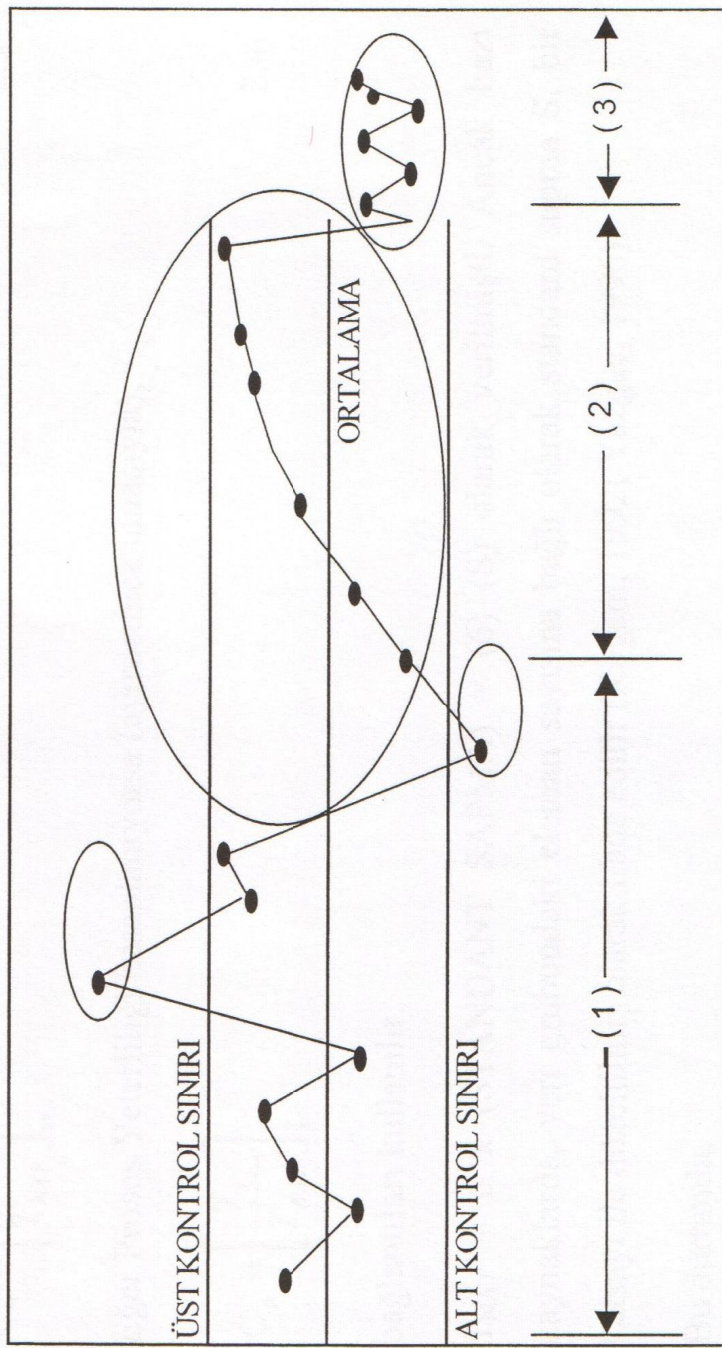
değerleri tesbit edilir.

Doğaldır ki limitlerin belirlenmesi ve takibi yaşayan bir süreç olarak kabul edilerek zaman içinde iyileştirme yönünde çalışılacaktır. Dolayısıyla, süreç “takip-iyileştirme-limit değerleri daraltma” şeklinde bir çevrim halinde devam edecektir.

Çizelgelerin doldurulması sırasında doğal olarak belirli bir örnekleme planına uygun olarak alınan örnekler üzerinde yapılan ölçmelerin sonuçları kullanılır. 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 sözkonusudur (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 ortalamasının üstünde veya altında toplanması
- Böyle bir durum farkedildiği takdirde operasyona müdahale edilerek düzeltme yapılır.



Şekil 2.2 Takip çizelgesi

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

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

2.2.3.2 Proses ve Tezgah Yeterlilik Analizleri

Proses / makina yeterliliklerinin belirlenmesi, proses veya makinadan çıkan ürüne ait veri grubu üzerinden yapılır. Makina Yeterliliği C_m ile; Proses Yeterliliği C_p ile gösterilir. Yeterlilik (C_m veya C_p), iki parametrenin : “İstenen” ile “yapılabilen”in oranıdır.

İSTENEN : Spesifikasyon aralığı (tolerans aralığı) = T_s ,

Müşterinin / tasarım departmanının belirlediği geçerlilik aralığıdır.

YAPILABİLEN : Doğal tolerans (Natural Tolerance) = T_{NAT} ,

Ölçülerin gösterdiği yaylımdır. Pratikte, 6σ (standart sapma) olarak hesaplanır.

$$YETENEK = \frac{İSTENEN}{YAPILABİLEN} = \frac{T_s}{T_{NAT}} \quad 2.2$$

Eğer Makina Yeterliliği hesaplanıyorsa,

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

Eğer Proses Yeterliliği hesaplanıyorsa (ayırdetmek amacıyla),

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

bağlantıları kullanılır.

$T_{NAT} = 6 \times \text{STANDANT SAPMA} = (6) (S)$ olarak verilmişti. Ancak bazı kaynaklarda, veri grubundaki eleman sayısına bağlı olarak standart sapma S , bir katsayı ile düzeltilmiş olarak ifade edilir (Kogem, 1992; Yazgaç, 1996).

Bu durumda,

$T_{NAT} = (K) (S)$ olarak verilir.

2.5

$x = \frac{UIS - AIS}{2}$ ise; yani prosesin tolerans aralığını merkezlediği durumlarda geçerlidir.

Dağılımın normal olmadığı durumlarda,

$$C_p = \frac{T_s}{T_{NAT}}$$

bağıntısındaki T_{NAT} , 6 S veya KS olarak hesaplanmamalı; histogramdan ölçülerek, veya $R = X_{\max} - X_{\min} (\sim T_{NAT})$ şeklinde bulunmalıdır.

Makina ve Proses Yeterlilik hesabında dikkate alınması gereken diğer noktalar aşağıda belirtilmiştir (Grant ve Leawenworth, 1996):

- Makina ayarları dikkatle ve tam yapılmalıdır
- Makina/proses temiz ve bakımlı durumda olmalıdır
- Kullanılan hammadde/malzemenin teknik spesifikasyonlara uygunluğu teyit edilmelidir
- İnsan 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.

Makina Yeterlilik Analizinde veriler makinadan 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).

Makina 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 (John Deere & Co. 1990).

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 teşhisi ve bertaraf edilmesi gerekir)
- Gauss dağılımına uyumsuz bir özellik ölçülmektedir (geometrik hata, yüzey pürüzlülüğü, vb.).
- Kendini otomatik olarak ayarlayan bir makina/proses çıktıları ölçülmektedir.

İlk iki maddenin çözümü ve önlemleri bellidir. Üçüncü veya dördüncü madde ile tarif edilen durumlarda özel çözüm teknikleri geliştirmek/araştırmak gerekir. Bu tür dağılımlar bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

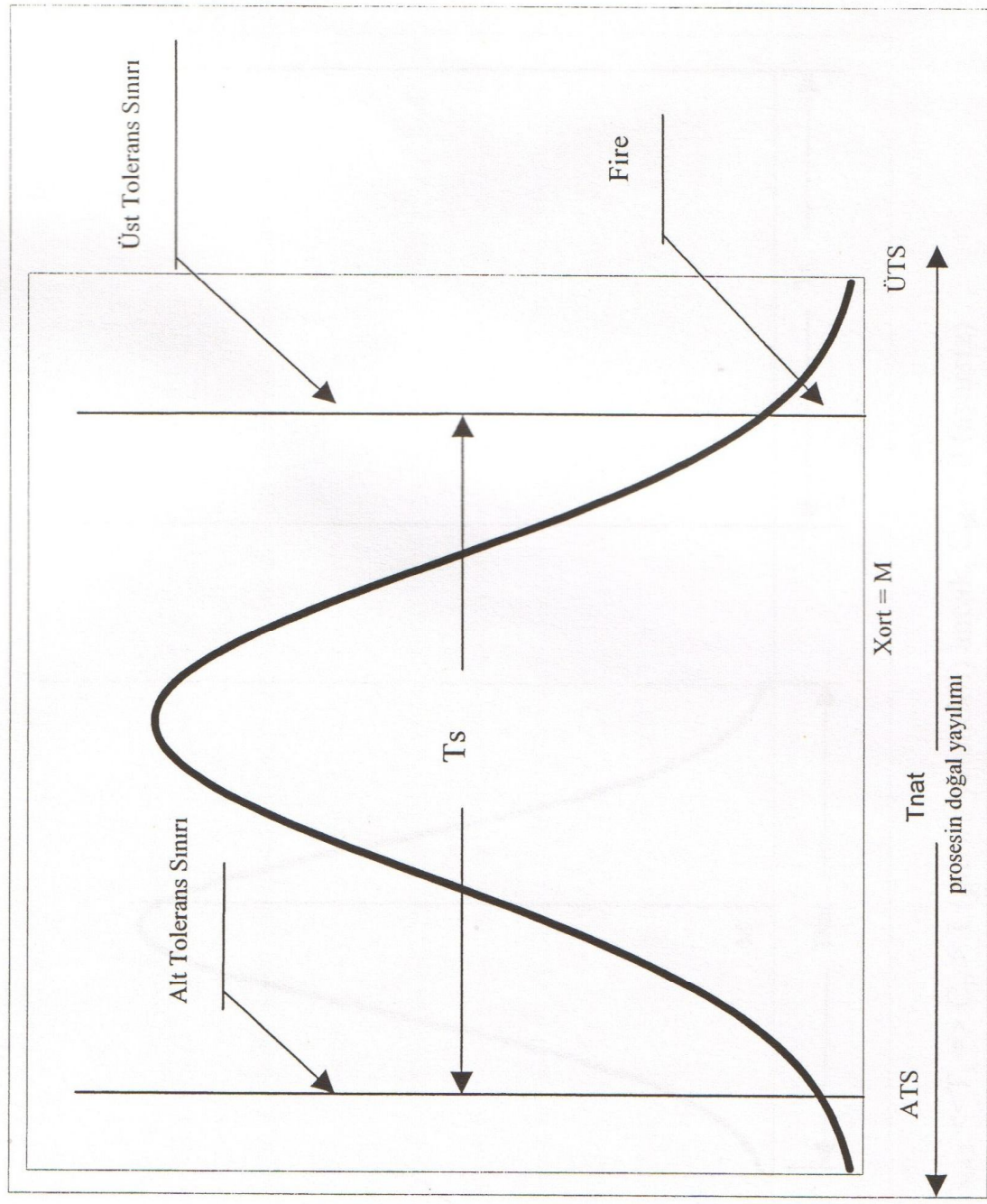
Yukarıdaki maddelere dikkat edilmeden yapılan bir Makina / Proses Yeterlilik Çalışması, yarardan çok yanığı getirebilir. Bilhassa özel nedenlerin ayıklanmış olması hususu çok önemlidir.

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

Performans, belirli bir yeterlilikteki makina veya procese 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.

Performans kavramının dağılım şeması üzerindeki gösterimi aşağıda verilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Proses / Makina Performansı

Proses / Makina Performansı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

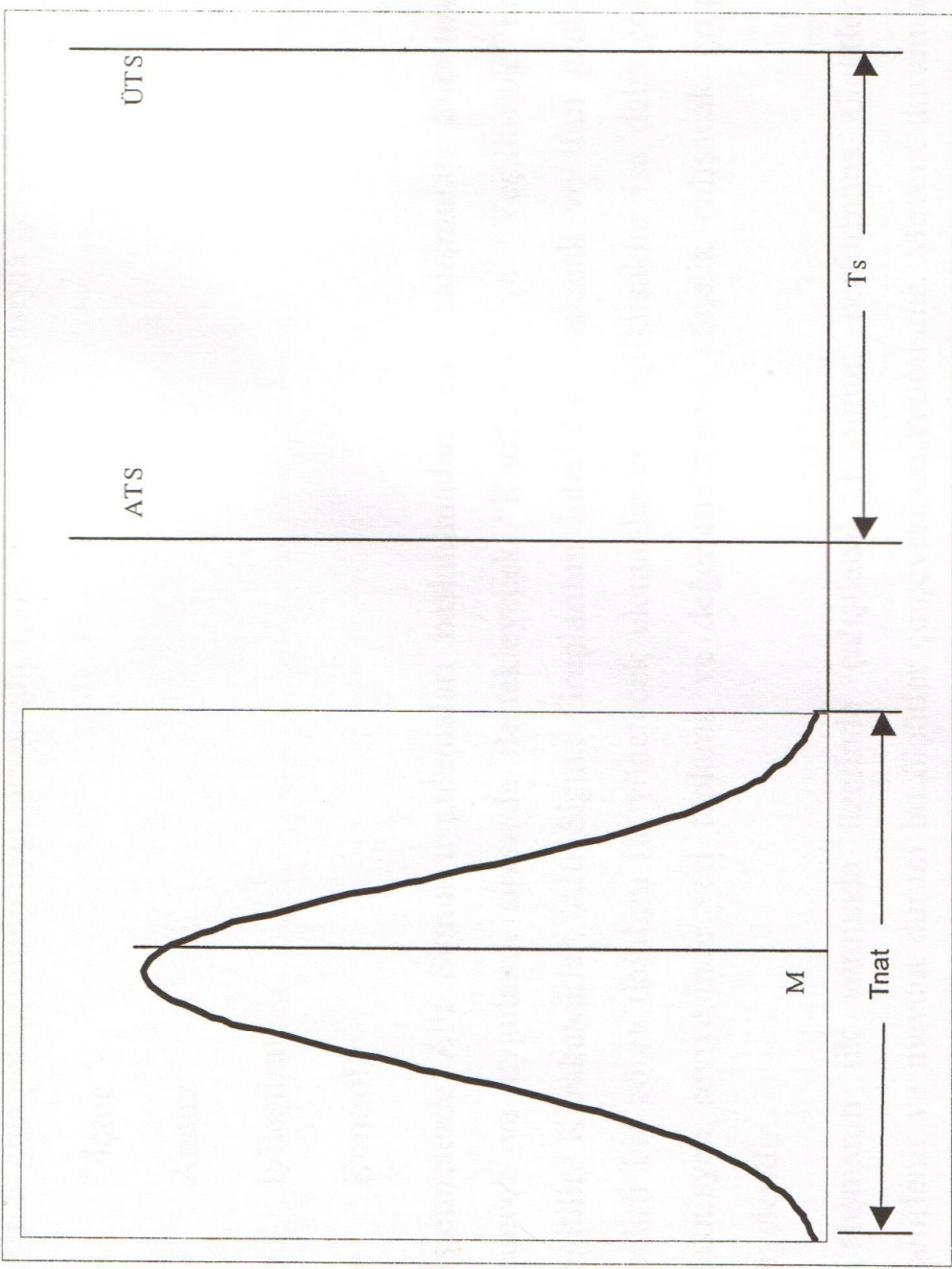
$$C_{mk} \text{ veya } C_{pk} = \min \left\{ \frac{(\bar{X} - M)}{T_{NAT}} \text{ \& } \frac{(M - L)}{T_{NAT}} \right\} \quad 2.7$$

= f (prosesin toleransa göre merkezleme durumu).

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 (Şekil 2.5).

Özetleyecek olursak, Proses Performans değerinin düşük olduğu durumlarda aynı zamanda proses yeterliliği isetenen seviyede olabilir, bu noktada sadece bir ayar sorunundan bahsedilebilir.



$T_{NAT} < T_s \Rightarrow C_p > 1$ (proses yetenekli) ancak, $C_{pk} < 0$ (ayarsız)

Şekil 2.5 Proses Ayar Kayması

2.2.4 Altı Sigma

Altı Sigma, temelinde sürekli gelişmeyi hedefleyen bir problem çözme tekniğidir (Bhothe, 2000). 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

Altı Sigma yaklaşımının uygulamasında aşağıdaki adımlar sırasıyla gerçekleştirilir:

- Ölçme
- Analiz
- İyileştirme
- Kontrol

İşletmelerde Altı Sigma uygulamaları başlatılmadan önce çalışmaları 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 adımıda 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. Bu faaliyet 2.1.3 bölümünde anlatılan Ölçme Sistemi Yeterlilik Analizi çalışması ile gerçekleştirilir.

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 herbirinin yeterlilik incelenmesi 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.

Bu kısma kadar yapılan çalışmaların tümü Paket Programlar yardımıyla gerçekleştirilir. Bu alanda en yaygın olarak kullanılan program Minitab'dır.

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.

2.2.5 Toplam Üretken (Verimli) Bakım (TÜB)

Bu yaklaşım ile, makinaların bakım ve geliştirilmesinde, onları kullanan kişiler söz sahibi edilmektedir. Amaç "benim makinam" kavramını yerleştirmek, dış bakım ihtiyacını en aza indirirken, kaliteyi üretim sırasında güvence altına almaktır.

Üretim prosesleri sırasında, ekipman üzerindeki küçük değişiklikler nedeniyle Proses Yeterlilikleri azalmaktadır. Bu değişiklikler incelendiklerinde genellikle

alınacak basit önlemler ile yeterliliklerin uzun dönemler için korunabileceği görülür. Önleyici Bakım (Predictive Maintenance) ve Koruyucu Bakım (Preventive Maintenance), Toplam Üretken Bakımın bileşenleridir. TÜB için makina operatörleri, makinanın yeteneğini ve güvenilirliğini değerlendirmenin yanısıra, 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.

Günümüzde, TÜB yardımıyla operatör ekipman ilişkisi geliştirilmiş ve ekipman kaynaklı problemlere önleyici bir yaklaşım getirilmiştir. Aslında TÜB için “üretim birimlerinin yönetim şeklidir” tanımlaması da yapılabilir.

3. YAYIN TARAMA

Bir önceki bölümde, günümüzde ulusal ve uluslararası boyutta yoğun olarak kullanılmakta olan kalite teknikleri genel anlamda incelenmişti. Hatırlanacağı üzere, bu tekniklerin bir kısmı üretim süreçlerinin gerçek zamanlı kontrolüne yönelik olmakla beraber önemli bir kısmı da proaktif olarak önleyici yönde kullanılan araçlardır. Aslında günümüzün küreselleşen rekabet şartlarında önleyici yönü ağır basan kalite teknikleri gerçek zamanlı kontrol tekniklerine göre daha fazla ön plana çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni, artık günümüzde tüm tüketiciler tarafından “kalite”nin kazanılmış bir hak olarak ürün üzerinde “olmazsa olmaz” bir konumda algılanmasıdır. Buna bağlı olarak hammadde ve yarımamul tedarikinden başlayıp ürünün tüketiciye ulaşmasına kadar geçen evrelerde süreçlerin ve bağlı olarak ürünlerin değişik yöntemlerle kontrolü uzun yıllardır ciddiye ve yeterince ele alınması gereken ve zaten yapılan bir durumdur. Buna karşılık önleyici yöntemlerin kullanımı özellikle ülkemizde göreceli olarak geri planda kalmış ve hala firma yönetimlerince tartışma konusu yapılmaktadır. Bu tartışmaların arka planında, önleyici yöntemlerin, katılan maliyetlere karşın sağladıkları yararlar ve kısmen de yeterlilikleri yatmaktadır.

Tüm bu tartışmalara karşın, son yıllarda ülkemizde, biraz da yaşanan ekonomik krizlerin etkisi nedeniyle uluslararası ticaretin eskiye oranla çok daha fazla ön plana çıkması ve buna bağlı olarak yurtdışındaki partner şirketlerin talep ve desteği ile önleyici uygulamalar gün geçtikçe artmaktadır. Yine bir önceki bölümde değinildiği gibi önleyici yöntemler tüketici beklentilerinin algılanması ve teknik düzeye indirgenmesi gibi kısmen firma dışına yönelik yöntemler ve tamamen ürün ve süreçlere odaklanmış firma içine yönelik yöntemler olarak temel iki grupta toplanabilir. Firma dışına yönelik yöntemlerin kendi markalarını uluslararası boyutta konumlandıran ve pazarda markalarını ön plana çıkaran firmalar tarafından pazarlama ekiplerinin öncülüğünde veya en azından yoğun katılımı ile kullanılması gerekirken, firma içine yönelik yöntemler daha dar kapsamlı gruplarla ve daha net bilgilerle ürün ve süreçlere uygulanabilir. Bu araştırmayı yapan ve 15 yıldır Türk

endüstrisinin içinde ağırlıklı olarak kalite ve yönetim sistemlerine yönelik çalışan bir kişi olarak ikinci gruptaki yöntemlerin ülkemizde birinci gruptakilere kıyasla çok daha fazla benimsendiğini ve uygulandığını söyleyebiliriz.

Aslında bu konu ülke yönetimleri seviyesindeki dış ticaret planlamaları ile doğrudan ilgilendirilebilir. Ülkelerin genel kalkınma planlarında, hangi sektörlerde uluslararası liderliğin hedeflendiği ve hangi sektörlerde sadece diğer uluslararası lider gruplara kaliteli bir hizmet verileceği tanımlanıp, bu sektörlerin hedefler doğrultusundaki destekleme planları da yapılmalıdır. Bugün, çok gelişmiş veya müreffeh denilen ülkelerin geçmişlerinde bu tip planlamaların yapıldığı ve hala yapılmakta olduğu bir sır olmaktan çıkmış ve çeşitli yayınlarla “en iyi örnekler” olarak uluslararası anlamda kullanıma açılmaktadır. Ülkelerin uluslararası rekabet ve rekabeti destekleme planlarının varlığı, sürekliliği ve güvenilirliği firmaların stratejik anlamda konumlanması açısından son derece önemlidir. Bu tarz konumlandırmalar, takibeden hedef pazar ve ürün planlamalarını ve bunlara bağlı olarak ürünlerin tasarımından üretim ve sonrasındaki dağıtım ve servis evrelerinde kullanılması gereken özel tekniklere kadar kademeli planları ve uygulamaları tetikleyecektir.

Ülkemizde bu tip üst seviye planlamaların varlığı yönetim ve kalite tekniklerinin benimsenmesini ve yaygınlığını doğrudan etkilemektedir. Konuya tam ters taraftan yaklaşıldığında ise firmaların uluslararası kabul görmüş yönetim tekniklerini ne oranda yaşam tarzı haline getirdikleri o ülkenin üst seviye planlamaları hakkında önemli bir fikir vermektedir denilebilir. Dolayısıyla kalite ve yönetim tekniklerinin benimsenme ve kullanım oranlarından hareketle firma yönetimlerini ve çalışanlarını olumsuz yönde yargılamak çok doğru bir davranış olmayacaktır.

Yukarıda anlatılan konuları, ülkemiz endüstrisinin, günümüzde, uluslararası ticarete ağırlıklı olarak uluslararası boyuttaki lider grup ve şirketlere ürün ve hizmet sağlama konumunda olduğunu söyleyerek toparlayabiliriz. Ancak yine de tekstil, beyaz eşya, genel makine imalatı, lastik vb. sektörlerinde çok fazla sayıda olmamakla beraber kendi markasıyla uluslararası arenada mücadele veren ve bazı ülkelerde kendi markaları ile pazar lideri olan firmaların varlığı da sevindirici ve ileriye dönük olarak umut vericidir.

Son yıllarda ülkemizin uluslararası boyutta bir üretim  ss  olma  zellikliini kazanması ile hazır tasarımların en üst seviyede kalite ile üretilmesi ve kısmen Türk teknik adamlarının çok ulusal tasarım faaliyetlerine katılımı söz konusu olmuştur. Bu evreler üründen beklentilerin tamamen teknik bazda indirgenmiş olduğu ve kısmen tasarım ve daha çok üretime yönelik olarak önleyici yöntemlerin uygulandığı evrelerdir. Dolayısıyla bu aşamalarda kullanılacak kalite tekniklerinin anlaşılabilirliği, kolay uygulanabilirliği, elde edilen çıktıların kullanılabilirliği ve verimi son derece önemlidir.

HTEA yöntemi sistem ve ürün tasarımı, proses ve bakım faaliyetleri tasarımında kullanılabilen en etkin önleyici yöntemlerden biri olup, doğru uygulanması halinde firmalara oldukça fazla yarar getirecek bir kalite tekniği olarak ön plana çıkmaktadır. **Dolayısıyla bu çalışma kapsamında bu yöntemin mevcut haliyle tanıtımı ve kullanımına yönelik bir inceleme ve daha verimli hale getirmeye yönelik bir geliştirme yapılması düşünülmüştür.**

HTEA yöntemi üzerinde bir çalışma yapılması d ş n ld ğ nde öncelikle bu konuda bugüne kadar yapılmış diğer çalışmaların araştırılması, ilgili görülen çalışmaların en azından abstract bazında incelenmesi ve teze önemli katkı yapabileceği d ş n len konularda daha detaylı inceleme öngörülmüştür. İnceleme faaliyeti aşağda belirtilen alanlarda yapılmıştır.

- Konu ile ilgili olarak bugüne kadar yurtiçi veya yurtdışında yayınlanmış tüm kitaplar araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle yöntemin ABD kökenli firmalar tarafından geliştirildiği düşüncesi ile Amerika'daki en etkin kalite  rg t  olan American Society of Quality kaynaklarına ardından da elektronik ortamda en büyük kitap sağlayıcı olan Amazon kaynaklarına başvurulmuştur. Bu kapsamda yapılan çalışmada aşağdaki veriler elde edilmiştir. ABD' nin en yüksek kalite organizasyonu olan American Society for Quality de bu konu ile ilgili tek bir yayın bulunmamaktadır (Stamatis, 1995). Ayrıca yine küresel bazda teknik yayın üretimini yapan büyük kitapevlerinin yayın gamında sadece birkaç informatif yayın bulunmamaktadır. İlave olarak dünya çapında kalite alanında en tanınmış sürekli yayın olan Quality Progress Dergisinde son 10 yılda konu ile ilgili olarak yayınlanmış olan sadece iki makale vardır. Bu verilerden hareketle HTEA yöntemini bütünüyle

tanımlayan ve kitap haline getirilerek yayınlanmış çok fazla çalışma olmadığı sonucuna varılmıştır. İnceleme ortamları kapsamındaki aşağıdaki dördüncü maddede verilen uluslararası akademik çalışma ve seminer sunumlarında da kaynak olarak yararlanılan herhangi bir kitap belirtilmemesi bu bulguyu desteklemektedir.

- İkinci adımda konu hakkında bugüne kadar yurtiçinde yapılan akademik çalışmalar, seminer ve konferanslarda sunulan bildiriler ayrıca araştırılmıştır. Tarama çalışması Türkiye genelinde 2002 yılına kadar yapılan altmışbin civarındaki yüksek lisans ve doktora tezinin başlıkları kapsamındaki inceleme ile başlatılmıştır. Daha sonra bu çalışmaların içinden on kadarı üzerinde daha detaylı inceleme yapılmıştır. Bu tarama sonrasında ülkemizde henüz kalite ve kalite yönetimi teknikleri ile ilgili olarak akademik çalışma anlamında çok detaylı bir inceleme ve geliştirme yapılmamış olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak yüksek lisans tezleri seviyesinde, genellikle işletmelerden veri toplayarak ülke genelinde bazı uygulamaların yayılımını ölçme şeklindedir. Münferiden tekniklerin ve yöntemlerin üzerinde yapılan birkaç geliştirme çalışması olmakla beraber hiçbir tez kapsamında yapılan çalışma ile yakın ilgili değildir.

- Daha sonra bu konuya yönelik olarak ticari kuruluşların hazırladıkları teknik ve eğitsel dökümanlar araştırılmış ve ulaşılabilenler incelenmiştir. Bu kapsamda bulunabilen kaynaklar firma yönetimlerinde hazırlanan eğitim dökümanları ve el kitaplarıdır (Ford, 1992, GM, 1998, Kogem, 1995). Bunlara ilave olarak 1990 yılların ortalarında Koç Holding Malzeme ve İkmal Koordinatörlüğü tarafından yardımcı sanayi firmalarına yol göstermek ve kalite tekniklerini tanıtmak amacıyla hazırlanmış iki yayında konu ile ilgili olarak genel bilgilendirme yapılmıştır (Yazgaç, 1993, 1996).

- En son adımda uluslararası boyuttaki akademik çalışmalara yönelik bir inceleme yapılmıştır. Bu inceleme sırasında akademik bildirilerin toplandığı Engineering Village, Web of Science ve ASAP kaynaklarından faydalanılmıştır. Bu kaynaklarda yapılan çalışmalarda konunun Güvenilirlik Mühendisliği başlığı altında yer aldığı görülmektedir. Tarama çalışması sırasında bulunan kaynaklar ağırlıklı olarak Engineering Village sitesinde yer almaktadır. ASAP kaynaklarında konu ile ilgili fazla bir veri olmayıp Web of Science kaynaklarında bulunan çalışmalar

birebir Engineering Village'dekiler ile aynıdır. Bu sebepten dolayı detaylı inceleme ve veri toplama Engineering Village veri tabanı üzerinden yapılmıştır.

Engineering Village sitesinden FMEA başlığı altında yapılan taramada 1970'lerden bugüne kadar yapılmış yaklaşık ikiyüz civarında çalışma bulunmuştur. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu elektronik sektörüne yönelik uygulamalarla ilgili olup baskılı devre tasarım ve üretiminde yaşanan tecrübeler ve problemler çerçevesinde şekillendirilmiştir. Elektronik sektörüne yönelik olan çalışmaların dışındekilerin büyük çoğunluğu ise Hata Türü ve Etkileri Analizi için yapılan veri toplama yöntemlerine yöneliktir. Bu kapsamda yapılan çalışmaların çoğunda veri toplama ve analizine yönelik bilgisayar programları geliştirilmiştir.

Sözkonusu sitede yeralan tüm çalışmalar “abstarctlar” bazında incelenmiş olup bunlardan aşağıda detayı verilecek olan dokuz adeti yapılan tez çalışması ile bazı yönlerden kısmen ilgili bulunarak bunların tam metinleri incelenip değerlendirilmiştir. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

Kantitatif HTEA otomasyonu konulu çalışmada, klasik HTEA sürecinde yeralan geleneksel beyin fırtınası ile sebeplendirmenin otomatize edildiği bir bilgisayar programı yardımıyla daha etkin ve daha az zaman alan hale getirilmiştir (Montgomery ve Marko, 1997). Burada sözkonusu program kantitatif bir simulasyon kullanarak çok kısa sürede sonuca ulaşılmasını sağlar. Model sözkonusu ürün veya prosese ait geçmiş tecrübelerden gelen sayısal verileri, halihazırda çalışan üretim hatlarındaki göstergelerin sonuçlarını baz alarak ileriye dönük bazı kabullerle hesaplama yapar. Benzer yollarla olası sonuçları tahmin etmeye yarayan programlar mevcuttur ancak bu tür programların çalıştırılması sırasında üzerinde çalışma yapılan ürün veya süreç ile geçmiş veriler arasında sağlıklı bir ilişki kurulması gereklidir, aksi halde elde edilen sonuçların güvenilirliği kuşkulu hale gelir.

Yukarıdakine benzer bir başka bir veri analizi modeli ise HTEA'nde karatahta modeli diye tanımlanmıştır. Bu yöntemde ise yukarıda anlatılanlardan bir miktar farklı olarak uygulama sırasında gereken organizasyonel prensipler gerçekleştirmelerden bağımsız olarak tanımlanmaktadır (Russomanno ve diğ., 1992).

Bu yöntemde uygulamanın yapıldığı ortamdaki (kuruluş, işletme, fabrika, tesis v.b.) prosedürel gerekler, dizayn kriterleri gibi fiili gerçekleşme verileri dışında kalan teorik gerekler sisteme dahil edilmeye çalışılır. Dolayısıyla ilk anlatılan yönteme kıyasla daha teorik ve onu tamamlayıcı yöndedir.

Ozellikle hata türlerinin, etki ve sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik çalışmaları etkinleştirmek ve otomatize etmek için geliştirilen yöntemlerden bir diğerinde ise yine olayın birinci fazındaki sorgulamayı elektronik ortamda yapmayı sağlayan bir program geliştirilmiştir (Hunt ve diğ., 1993). Bu yöntemde program sorgulama sürecini bir döngü halinde katılımcılara açar ve döngü halinde sorgulayarak herhangi bir olasılığın dışarıda kalması ihtimalini en aza indirmeye çalışır. Programın geçmiş verilerin sisteme dahil edilmesi veya işletme standartlarının veya kriterlerinin göz önünde bulundurulması yönünde bir çabası yoktur. Temel olarak sorgulama sürecinin bir sistematik çerçevesinde yürütülmesini destekler.

Başka bir yöntemde ise çalışmaların Web üzerinden yapılabilmesi sağlanmıştır (Huang ve diğ., 1999). Bu tarz bir çalışma özellikle birden fazla ünitesi olan ve bu ünitelerin farklı şehir ve ülkelerde olması durumunda önem kazanır. Web üzerinden yapılan HTEA çalışmasında farklı birimlerdeki katılımcılar merkezi bir servere bağlanarak çalışmayı sürdürebilirler. Sistemde tüm katılımcıların web sayfaları üzerinde gerekli girişleri yapması ve çalışmanın adımlar halinde devam etmesi düşünülmüştür. Görüldüğü üzere, geliştirilen bu yöntemde sistemin işleyişi üzerinde herhangi bir iyileştirme yapılmamış olup sadece sistemin farklı lokasyonlara yayılımı amaçlanmıştır.

Ford firmasında son yıllarda geliştirilen bir bilgisayar programı ile beyin fırtınası adımlarının elektronik ortamda yapılabilmesi sağlanmıştır (Montgomery ve diğ., 1996). Burada yine program bir simulasyon ile hata türlerinin belirlenmesini destekler. Bu yöntem sadece dizayn için uygulanmakta ve üretim aşamalarına geçilmeden tamamlanmaktadır. Uygulama sırasında program geçmiş verilerden yararlanarak bazı kabuller yapmakta ve diğer adımlara geçmekte böylece beyin fırtınası çalışmasının etkinliğini artırmakta ve süreyi kısaltmaktadır.

ise geçmiş verileri değerlendirilerek ve sistemde kullanılan bileşenlerin geçmiş hata oranlarını dikkate alarak bu componentlerin birarada kullanılması halinde sonuçtaki hatanın ne olabileceği ortaya çıkarılmaya çalışılmaktadır (Price ve Taylor, 2002). Szkonu program bunlara ilave olarak sonuç raporunun da sade ve anlaşılır bir şekilde uygulamaya dönük olarak ortaya çıkmasını da sağlar.

Yukarıdaki çalışmaların tümünde HTEA matrisinin oluşturulmasında kullanılan hata türü, sebep ve etkilerinin saptanması faaliyeti daha etkinleştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmaların tümünde bu amaçla geliştirilen bilgisayar programları mevcuttur. Bu programlar bazen geçmiş verileri kullanarak bazen de firmaların standart prosedür ve dizayn kriterlerini değerlendirerek belli kabuller altında hesaplamalar yapar ve standart raporlar oluştururlar. Bu çalışmaların hiç birinde Risk ncelik Göstergelerinin hesaplanmasına ve sonuçların değerlendirilmesine yönelik bir geliştirme yer almamıştır.

Verilerin sonuçlarla beraber ele alınıp iyileştirme yapılacak hata türlerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların taranması sonucunda HTEA’inde yeni yaklaşım adıyla özetlenen bir çalışma bulunmuştur (Votter ve Mashhour, 1996). Bu çalışmada geliştirme faaliyetinde klasik HTEA matrisinde hatanın ortaya çıkışı ve bunu işaret eden semptomların zincirleme olarak ele alınması hedeflenmiştir. Sonuçtan hareketle hatanın ciddiyesi hakkında karar verilmeye çalışılmıştır.

Bu konuda yapılan diğer bir çalışmada ise hata türlerinin tesbit aşaması ve Risk ncelik Göstergelerinin hesaplanması adımları birbiri ile entegre edilirken hataların sadece ilgili componenti veya tüm sistemi etkilemesi analizi yapılarak lokal veya global öncelik göstergeleri hesaplanır. Bu şekilde hatanın ağırlıklandırılması yapılarak karar verme süreci daha hassas hale getirilmektedir (Kara-Zaitri ve Fleming, 1992).

Taramalar sırasında ayrıca İngiltere’deki motor endüstrisinde HTEA uygulamaları ile ilgili bir çalışmaya da rastlanmıştır (Dale ve Shaw, 1990). Bu, bölümün en başında belirtildiği şekilde bir veri toplama, analiz ve değerlendirme çalışmasıdır. Sözkonusu bildiriye kaynak sağlayacak veriler İngiltere’de yerleşik yüz dolayında

firmaya yönelik bir anket yardımıyla derlenmiştir. Anket çalışmasına yetmişsekiz firmadan cevap gelmiş olup, bu firmaların HTEA yöntemini ne derece kullandıkları, nasıl değerlendirdikleri ve ne derecede yarar sağladıkları sorgulanmıştır. Yapılan tesbitler şu şekilde özetlenebilir; Öncelikle İngiltere'deki motor üreticisi firmaların büyük çoğunluğunda (%90 civarında) HTEA'ni hiç uygulanmamakta ya da başlangıç aşamasındadır. Sadece birkaç firma bu tekniği daha detaylı olarak araştırmış ve uygulamaya geçebilmiştir. Her iki kategoride de tekniğin uygulanmasındaki temel sebep müşterilerin bu yöndeki talepleridir. Organizasyonların büyük çoğunluğunda (%80 ciavarında) HTEA çalışması bir takım çalışması olarak kabul edilmektedir. Aslında kalan kısmın bunu bir takım çalışması olarak kabul etmeyip organizasyondaki belirli birimlerin sorumluluğu kabul etmesi ayrı bir inceleme konusu olabilir. Bu durum işletmelerdeki Toplam Kalite kültürünün yaygınlığı hakkında da ayrıca bir fikir vermektedir. Anket çalışmasına katılan uygulamacıların çoğu HTEA çalışmasını oldukça uzun ve zor bir süreç olarak kabul etmektedir. Çalışmaların hiç başlayamaması veya uygulama sırasında yaşanan sıkıntıların temel sebebi olarak gereken zamanın uzunluğu ve katılımcıların günlük olarak sorumlu oldukları işlerden dolayı ilave bir grup uygulamasına yeteri kadar vakit ayıramaması gösterilmektedir. Ayrıca, bu tekniğin iş sonuçları üzerine olan etkisinin yeterince algılanamamış olması ve buna bağlı olarak firma üst yönetimlerinin olayın önemini kavrayamamaları nedeniyle yeteri kadar sahiplenmemeleri ve desteklememeleri de tekniğin gerektiği kadar kullanılmamasının başlıca sebebi olarak ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak firma içi yetersiz kaynak tahsisi ve yetersiz eğitim de uygulamaların istenen seviyeye gelmemesindeki diğer önemli etkenlerdir.

HTEA'nde RÖG puanlarından hareketle iyileştirme yapılacak hata türlerinin tesbitine yönelik olarak sadece bir çalışma mevcuttur (Signor, 2002). Bu çalışma özellikle bilişim sistemleri uygulamaları için yapılmıştır. Burada geliştirilen bir hata analizi matrisi sözkonusudur. Bu matriste hataların çözüm şekilleri de kısmen yer alır ancak hataların etkileri yeralmaz. Bu yöntem temel olarak çalışmayı kısaltmak ve HTEA matrisini basitleştirmek için düşünülmüştür ancak hata etkilerini dikkate almadan yapılan bir değerlendirme sonucun tutarlılığı hakkında kuşku yaratmaktadır.

Sonuç olarak yukarıda yer verilen akademik çalışmalar veya değişik ortamlarda yapılan münferit geliştirme çalışmaları incelendiğinde de sonuca yönelik değerlendirmeyi belirli kabullerden kurtarıp matematik bir tabana indirgeyen bir geliştirmenin olmadığı görölmektedir. Bu hedefe yönelik olarak yapılacak bir çalışmanın bu noktadaki boşluğu dolduracağı açıktır. Tez kapsamında yapılacak geliştirmede asıl hedef hata türlerinin ortaya çıkmasına yol açabilecek potansiyel sebeplerin seçiminin iyileştirmesi olduğundan yukarıda özetle anlatılan çalışmalardan çok fazla yararlanılamayacağı düşünölmüştür. Ancak, sözkonusu yayınların bazılarında klasik HTEA yönetimin zayıf yönlerine değinilmiştir ve tezin ilerleyen bölümlerin bu yönler tekrar ele alınacaktır. Ayrıca bu çalışmalara kısaca da olsa bu bölümde verilmesinin, tez kapsamında ele alınan konu hakkında günöümüze değin yapılan ve ulusal veya uluslararası anlamada herhangi bir ortamda yayınlanan tüm çalışmaların kapsanması ve bu konu hakkında bundan sonra çalışmak isteyeceklere eksiksiz bir referans oluşturulması açısından yararlı olacağı düşünölmektedir.

4. HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ YÖNTEMİ

4.1 Hata ve Hasar Kavramlarına Yönelik Genel Tanımlamalar

Tez kapsamında üzerinde çalışılan metodoloji uluslararası literatürde “Failure Mode and Effect Analysis” ifadesi ile tanımlanmaktadır. Ülkemizde bugüne kadar yapılan çalışmalarda bu tanımlama “Hata Türü ve Etkileri Analizi” şeklinde Türkçeleştirilerek kullanılmıştır. Burada “Hata Türünün Etkisi” ürünün bütünü veya herhangi bir parçasının kendisinden beklenen işlevi yerine getirememesi olarak görülebilir. Bu durum ortaya çıkmasına yol açan bir teknolojik uygunsuzluk sözkonusudur ve bunlar çalışmada “Sebepler” olarak belirlenirler. Bunlara ilave olarak bir de söz konusu hata türünün kullanıcıya yönelik fonksiyonel uygunsuzluğu yani etkisi olacaktır ve bu durum her hata türü için “Etki veya Etkiler” olarak belirlenir. Yukarıda verilen tanımlamaları yaptıktan sonra konuya farklı bir bakış açısı ile yaklaşarak çeşitli sebeplerden ortaya çıkan işlevin yerine getirilememesi durumu “Ürünün Bütünü veya Bileşenlerinin Hasarı” diye tanımlanabilir.

Hasar, bir yapının (ürünün) veya yapı elemanının kendisinden beklenen işlevleri yerine getiremez hale gelmesidir (Eryürek, 1993). Hasar tanımının bu şekilde olması Hata Türleri ve Etkileri Analizi tanımlamasının Hasar Türleri ve Etkileri Analizi şeklinde yapılmasının daha doğru olacağı düşüncesini doğurmaktadır. Aslında Hasar Analizi Makina Mühendisliğinin temel disiplinlerinden bir olup ürün tasarımı, mukavemet, malzeme bilimleri ve üretim yöntemleri ile doğrudan ilişkilidir. Burada temel amaç hasarın oluşması durumunda yapılacak analiz ile sebeplerin ve sorumluların tespiti ve tekrarının önlenmesidir, dolayısıyla yöntem önleyici bir yaklaşım olmaktan ziyade ortaya çıkan durumun geriye dönük analizi için uygulanmaktadır.

Yöntemlerin ileriye veya geriye doğru işletilmeleri bir kenara bırakılıp kavramsal olarak yaklaşıldığında önemli benzerlikler taşındıkları görülmektedir. Her ikisinde de beklenen işlevin yerine getirilememesi durumunda buna sebep olan teknolojik

uygunsuzlukların tesbiti sözkonusudur. Bununla beraber beklenen işlevin yerine getirilememesi durumunda bu durumun kullanıcıya fonksiyonel etkisi olacaktır. Bu da her iki yöntemde de hatanın/hasarın etkisi olarak mevcuttur. Aradaki temel fark Hasar Analizi yaklaşımında etkinin ortaya çıkmış olması HTEA yaklaşımında ise ortaya çıkmadan tahmin edilmesidir.

Yukarıda bahsedilen ortak noktalardan hareketle HTEA yöntemi Makina Mühendisliği Lisans veya Yüksek Lisans programlarında verilen Hasar Analizi Dersi içeriğine tamamlayıcı bir metodoloji olarak dahil edilebilir.

HTEA yönteminin, 70'li yılların başında sadece ürün tasarımı aşamasında kullanıldığı dönemlerde İngilizce isimlendirmede kullanılan "Failure" kelimesinin Hata yerine Hasar şeklinde Türkçeleştirilmesi daha uygun bir tanımlama olacaktır. Ancak günümüzde sözkonusu yöntem ürün tasarımının yanısıra, proses tasarımı, sistem ve hizmet tasarımı faaliyetlerinde de kullanılacak şekilde geliştirilmiştir. Bu başlıklar çerçevesinde düşünüldüğünde beklenen işlevin yerine getirilememesi durumu her zaman hasar kavramı ile tanımlanamayabilir. Örneğin, bir lojistik hizmet tasarımında "Beklenen sürede malın teslim edilememesi" durumunun hasar yerine hata kelimesi ile ifade edilmesi daha uygun ve anlaşılır olacaktır. Ayrıca doğruluğu bir miktar tartışılır olsa da yönetimin Hata Türü ve Etkileri Analizi şeklinde yerleşmiş bir tanımlaması sözkonusudur. Yukarıda bahsedilen iki temel husus çerçevesinde kavram karışıklığı olasılığını ortadan kaldırmak amacıyla çalışmanın bütününde halihazırda kabul görmüş isimlendirmenin dışına çıkılmayıp yöntemin "Hata Türü ve Etkileri Analizi" şeklinde ifade edimesine karar verilmiştir.

4.2 HTEA Yöntemi Nedir?

HTEA yöntemi, Amerikan firmalarının küresel rekabette 1950'li yıllardan itibaren kazandıkları başarının 1970 yıllarda gittikçe etkisinin azalması ile eskiden sahip oldukları rekabet üstünlüğünün tekrar elde edilmesi çabaları sonucunda geliştirilmiş ve yaygınlık kazanmış, önleyici yönü ön planda olan bir kalite aracıdır. Bu teknik başka bir deyişle aşağıdaki ifadenin yarattığı rahatsızlık nedeniyle ön plana çıkmıştır.

"Yapılanlar sürekli olarak aynı şekilde tekrar ediliyorsa kazançlar da hep aynı olacaktır".

Günümüzde küresel rekabetin gittikçe artan bir ivme ile hız kazanması ülkelerin ve firmaların uluslararası konumunu tehdit altında bırakmaktadır. Bu noktada firmalar bir yol ayrımına gelmektedir. Ya yeni yönetim ve kalite tekniklerin kullanımı ile topyekün bir değişim süreci içinde gelişme ve rakiplere üstünlük sağlanacak, ya da pazar liderlerinin gerisinde kalınıp belirli bir dönem sonrasında pazardan çekilmek durumunda kalınacak. Hangi yol seçilirse seçilsin bu durum değişiklikler, belirsizlikler ve riskler taşımaktadır. İyi yönetilen şirketler, faaliyetlerinde bu riskleri belirgin hale getirmeyi, tamamen önlemeyi veya en aza indirmeyi hedefler. Bu hedefe ulaşmada, firmalardaki belirli bölümlerin çalışmaları yeterli olmayıp topyekün sahiplenme ve uygulama gerekir. Risklerin analizi iki temel başlıkta ele alınabilir.

- Ne yanlış gidebilir?
- Herhangi bir şey yanlış giderse bu nelere yol açar ve sonuçları ne olur?

Bu soruları cevaplandırabilmek için yapılan uygulamalar, günümüze değin aşağıdaki tabloda verilenler doğrultusunda gelişmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Problem Çözümü Gelişim Tablosu

Eski Yaklaşım	Yeni Yaklaşım
Problemin çözümü	Problemin önlenmesi
Hata maliyetlerin belirlenmesi	Hata maliyetlerin önlenmesi
Güvenilirlik derecesinin belirlenmesi	Güvenilirliğin arttırılması

Yeni yaklaşımın uygulamasına yönelik yöntemlerinin en öncelikli olanı Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemidir. Bu yöntem hataların oluşabileceği olası durumların analizine yönelik olarak geliştirilmiş özel bir metodolojidir.

Yöntemin uygulanması sırasındaki temel hedef, olası hatanın veya hatanın etkisinin en aza indirilmesidir. Bu basit yaklaşım kalitatif veya kantitatif boyutta olabilir. Hangi boyutta olursa olsun sonuç, kişilerin veya firmaların almak isteyecekleri veya

karmaşıklığına bağlıdır. Bu bağlantı aşağıda verilen başlıklarda ortaya konmaktadır (Juran ve Grayna, 1980).

1. Güvenlik: Yaşamsal risk tüm hata etkilerinin en ciddi olanı ve tartışmasız bir şekilde birinci önceliği taşıyanıdır. Bazı durumlarda yaşamsal riskin çok etkin bir şekilde ön plana çıkması Tehlike ve Zarar Analizi çalışması yapılmasını gerektirebilir.
2. Kayıp zaman: Hatayı önlemeye veya oluştuktan sonra etkilerini gidermeye yönelik olarak harcanması gereken zaman ne kadardır?
3. Önleme planlaması: Hatanın tekrarını önlemeye yönelik yapılacak çalışmaların planlaması nasıl olmalıdır?
4. Ulaşım: Hatanın ortaya çıkması durumunda etkilediği ekipmanlara ve ürünlere ulaşım imkanı nasıldır? Bu husus, ekipmanın veya ürünün kendisine ve ilave olarak ekipman bünyesindeki hatalı bileşene ulaşım olarak iki aşamada düşünülmelidir.

Yukarıda verilen parametreleri dikkate alarak yapılacak bir HTEA çalışmasında aşağıda verilen dört husus tam olarak anlaşılmalı ve ortaya konmalıdır.

1. *Tüm problemler aynı değildir.* Süreçlerin değişik noktalarında ortaya çıkan problemler aynı öneme sahip değildir. Problemlerin bir öncelik sırası olduğu herkes tarafından kabul edilmelidir. HTEA uygulamaları bu durumun tam olarak anlaşılmasına da yardım eder.
2. *Hedef müşteri bilinmelidir.* HTEA uygulamalarına başlamadan müşterinin beklentilerinin en azından bazı öncelikli parametreler çerçevesinde tanımlanmış olması büyük önem taşır. Burada müşteri kavramının, ilk olarak, ürünü HTEA uygulanan süreci takiben kullanacaklar ve daha sonra kullanacaklar olmak üzere iki aşamada ele alınmasında fayda vardır.
3. *Ürünün fonksiyonu bilinmelidir.* Ürünün fonksiyonunun bilinmesi sonucun doğruluğu ve verimi açısından çok önemlidir. Çalışmanın başında, ilave zaman harcanarak ürünün fonksiyonunun tüm katılımcılarca tam olarak anlaşılmasını sağlamak kesinlikle zaman kaybı olarak düşünülmemelidir.

alışmalarının sadece müşterinin resmi taleplerini karşılamak veya firma st yönetiminin beklentilerini yerine getirmek için yapıldığı durumlarla karşılaşılmaktadır. Bu tarz bir çalışmanın firmalara getireceğı sadece zaman kaybı olup, bir süre sonra yeni tekniklerin saygınlığının aşınacağı da göz ardı edilmemelidir.

4.3 HTEA'nın Yararları

Firma yöneticilerinin en başta gelen nceliğı tüm süreçlerinde mevcut veya potansiyel riskleri tanımlamak ve azaltmaktır. Süreçlerdeki riskler veya değişkenlikler genellikle girdilerdeki değişkenliklerden kaynaklanır. Değişkenlikler ise iki grupta toplanabilir (Denson, 1992). Bunlar süreçlerin doğasından kaynaklanan genel değişkenlikler ve bir takım beklenmeyen etkilerden kaynaklanan özel değişkenliklerdir. Genel değişkenlikler tüm kütleyi etkisi altına alırken, özel değişkenlikler ise sadece kısıtlı bir grubu etkiler. HTEA alışmaları her iki gruptaki değişkenliklerin yönetimine yönelik olmakla beraber öncelikli hedef ikinci gruba giren değişkenliklerin ortadan kaldırılması veya azaltılmasıdır. Bu doğrultuda yapılan çalışmaların daha detay bazdaki faydaları ise aşağıdaki başlıklarda toplanabilir (Stamatis, 1995)

- rnlerde rakiplere kıyasla belirgin fark yaratabilecek önceliklerin saptanmasına yardımcı olur,
- rn ve servislerin kalitesinin, güvenilirliğinin ve güvenliğinin arttırılmasına yardımcıdır,
- Firmaların imajını ve rekabet edebilirliğini destekler,
- Müşteri tatminini artırır,
- rn geşiştirme zamanını ve maliyetini azaltır,
- rn geşiştirme faaliyetlerindeki önceliklerin saptanmasına yardımcı olur,
- Yeni retim yöntemlerinin geşiştirilmesine yardımcıdır,
- Hurda ve firelerin azaltılmasını sağlar,

- Potansiyel hataların tanımlanmasını ve giderilmelerine yönelik düzeltici önlemlerin alınmasını sağlar,
- Firmanın genel kalite geliştirme bilicinin artmasına ve grup çalışmalarının benimsenmesine ve geliştirilmesine yardımcıdır.

Aslında tüm bu sayılanların ötesinde HTEA yönteminin uygulanmasının temel sebebi sürekli gelişme ihtiyacıdır. Firmalardaki sürekli gelişme arzusu ve HTEA uygulamaları birbirleriyle çok güçlü bir etkileşimdedir. İkisinin de tek başına gerçekleşmesi düşünülemez (GM, 1998).

4.4 Konuyla İlgili Genel Tanımlar

4.4.1 Ürün

Ürünün en genel tanımlaması “taşınabilir kişisel varlık” şeklindedir. Ancak bu tanımlama günümüz koşullarında, gözle görülüp elle tutulamayan bazı nesnelere de genişlemiştir. Örneğin; elektrik enerjisi ve danışmanlık hizmeti gibi. Ayrıca ele alınan kişisel varlığın ambalajı ve diğer destek sistemler de ürün tanımı içine girer.

4.4.2 Ürün Güvenilirliği

Ürün güvenilirliği genellikle her ülkeye özgü ulusal düzenlemelerle sınırlandırılmış üretici sorumluluğudur (Stamatis, 1995). Üretici sorumluluğu, üretilen ürünlerin genel halk sağlığı üzerinde olumsuz bir etki göstermemesi gerekliliğinden başlayıp, ürünün kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirememesi durumunda ortaya çıkacak olumsuzluklara kadar geniş bir yelpazede düşünülmelidir. Üreticilerden bütün bu seviyelerdeki olumsuzlukları önlemesi ve gidermesi beklenir. Ürün güvenilirliği, ülkelerin kanuni düzenlemelerine bağlı olarak, tam güvenilirlik, genel sorumluluk, garanti, kayıpların karşılanması, kullanıcı zararlarının giderilmesi gibi değişik boyutlarda ele alınabilir.

4.4.3 Ürün Hatası veya Hasarı

Gerçekçi bir bakış açısıyla düşünüldüğünde yeryüzündeki hiçbir şeyin tamamen mükemmel olduğu söylenemez. Buna bağlı olarak ürünlerin ve hizmetlerin bazı olumsuzluklar taşıyabilecekleri söylenebilir. Bu olumsuzluklar ürün üzerindeki hatalar olarak tanımlanır. Aslında ürünlerin hataları, genel beklentiler ve öngörüler,

üretici beyanı veya taahhüü ve kullanıcı beklentilerinin keşiminde ortaya çıkar. Aslına bakılırsa teknik anlamda tamamen güvenilir bir ürün de mümkün değildir. Bu tip bir güvenilirliğin maliyeti çoğu zaman tüketicilerin karşılayabilecekleri veya karşılamayı arzu ettikleri değerlerin üzerine çıkar. Dolayısıyla çok büyük çoğunlukla tüketici beklentilerinin ortalamasını baz alan fayda/maliyet ve risk/maliyet analizleri ile optimum bir çözüm aranır (Bass, 1991). Bir ürünü hatalı olarak nitelendirebilmek için aşağıdaki koşulların ortaya çıkması beklenir:

- Ürünün üretici tarafından hedeflenen özelliklerinden sapma göstermesi,
- Üretim operasyonlarının tamamen doğru olmasına karşın tasarımdan gelen olumsuzluklardan dolayı istenen fonksiyonu yerine getirememesi,
- Hedeflenen performansa ulaşamama,
- Gereken işaretleme ve ikazlandırmanın yapılmaması nedeniyle tehlike olasılığı bulunması,
- Ürünün satıcı veya üretici tarafından tanımlanan ve garanti edilen özelliklerde olmaması.

Yukarıda sıralanan durumlardan birinin ortaya çıkması halinde ürünün satıcısı veya üreticisinin olumsuzluğun giderilmesi için faaliyette bulunması beklenir ve günümüzde bu sorumluluk hemen hemen tüm ülkelerde değişik seviyelerdeki yaptırımları içeren kanun ve yönetmeliklerle düzenlenmiştir. Ancak burada bir husus gözönünde bulundurulmalıdır ki, o da ürünün uygun kullanımıdır.

4.4.4 Uygun veya Uygun Olmayan Kullanım

Uygun veya uygun olmayan kullanımdan bahsedebilmek için öncelikle üretici tarafından ürünün kullanımı sırasında dikkat edilmesi gereken hususların tam olarak tanımlanmış olması gereklidir. İlave olarak ürünün kullanılması gerektiği ortam ve çevresel şartlar da herhangi bir yanlış anlamaya sebep vermeyecek şekilde tanımlı olmalıdır. Bu şartlar karşılandıktan sonra ürünün hedeflenen fonksiyonlar doğrultusunda kullanılması gerekir. Bazı durumlarda ürünün kullanılacağı ortam veya fonksiyon tam olarak tahmin edilemeyebilir. Bu gibi durumlarda ise en azından minimum güvenlik şartları ve mutlaka kaçınılması gerekenler belirtilmelidir. Bu şartlar altında kullanıcıların ürünün tanımlanan doğrultuda kullanılmasını sağlanmalıdır. Ayrıca herhangi bir olumsuzluk durumunda ürün üzerinde meydana

gelebilecek hasarların ilerlemesini önleyecek önlemlerin alınması da kullanıcılarından beklenir. İkinci bahsedilen konu biraz hassas ve geniş sınırlara sahip olsa da günümüzde bu tip anlaşmazlıklarda üreticinin kendi hatasızlığını belgeleme ve ispat yükümlülüğü olduğu gibi tüketici veya kullanıcılarından da kendi uygun kullanımlarını belgelemeleri istenebilmektedir.

4.5 Sisteme Genel Bakış

Hata Türü ve Etkileri Analizi, ürünlerdeki bilinen veya olası bulunan hataları kullanıcılara ulaşmadan tanımlama ve ortadan kaldırmaya yönelik bir mühendislik tekniğidir. Aslına bakılırsa bu tarz değerlendirmeler yapmak için HTEA'nın haricinde başka teknikler de mevcuttur ancak günümüzde en yaygın kullanım bulmuş olan teknik olarak HTEA görülmektedir.

Bir erken uyarı ve önleme yöntemi olarak kabul edilebilecek bu teknik, tasarımcıya ileride ortaya çıkabilecek hataların analizi için sistematik bir metodoloji sunar. Aslında günümüzde tekniğin uygulama alanları sadece tasarım ile sınırlı olmayıp sistem, proses ve servis veya bakım alanlarına da uygulanabilir hale getirilmiştir (Ford, 1992). Analiz sırasında yukarıda bahsedilen süreçlerde hangi hataların ortaya çıkabileceği ve sebepleri incelenir. İkinci aşamada bu hatanın tüm sistemi nasıl etkileyebileceği ortaya konur. Daha sonra ise hata sebeplerinin ortaya çıkma olasılığı, şiddeti ve keşfedilebilirliği tahmin edilmeye çalışılır. Bu aşamalarda ağırlıklı olarak geçmişte yaşanan tecrübeler ve HTEA çalışmasını gerçekleştiren grubun katılımcılarının tecrübeleri ön plana çıkar. Daha sonraki aşamalarda ise bu hatalardan öncelikli olanların ortadan kaldırılmaları için gereken önlemler alınmaya çalışılır. Tüm faaliyetin genel hedefi, olası hataları kullanıcılara ulaşmadan ortadan kaldırabilmektir. İyi bir HTEA çalışması;

- Bilinen veya olası hata türlerini ortaya çıkarır,
- Bu hata türlerinin sebeplerini ve etkilerini tanımlar,
- Hata türlerini önceliklendirir,
- Önceliklendirilen hata türlerinden seçilenlerin ortadan kaldırılmasına yönelik faaliyetleri destekler,

- Firmalarda çalışmaların grup sinerjisi içinde yürütülmesi ve problemlerin sistematik yaklaşımlar ile çözülmesine yönelik genel bilinç artışı destekler.

4.5.1 HTEA Çalışmasının Başlatılması

HTEA çalışması ağırlıklı olarak potansiyel hatalar üzerine yoğunlaşacağından, olabildiğince erken başlatılması yararlı olacaktır. Bu durum yeterince somut bilgi olmadığı yönünde bir eleştiriye maruz kalabilir, ancak çalışmanın ilerleyen kısımlarında gözden geçirme olasılığı her zaman vardır. Bu konunun bir örnekle açıklığa kavuşturulması gerekirse, yeni bir tasarım için Kalite Fonksiyon Açılımından elde edilen bilgilerle HTEA çalışmanın başlatılabileceği söylenebilir. Daha genel bir bakışla HTEA çalışmasının aşağıdaki durumlarda başlatılması gerektiği düşünülür (Ford, 1992).

- Yeni bir sistem, ürün, proses veya servis / bakım operasyonu tasarımı söz konusu olduğunda,
- Herhangi bir nedenden dolayı mevcut sistem, ürün, proses veya servis / bakım operasyonunda temel bir değişiklik söz konusu olduğunda,
- Sistem, ürün, proses veya servis / bakım operasyonlarında bir geliştirme düşünüldüğünde.

Unutulmamalıdır ki HTEA “Sürekli Gelişme” ’yi destekleyen en önemli araçlardan birisidir. HTEA dinamik bir yöntem olduğundan tasarım faaliyetinin devamında değişik evrelerde geri dönüşlerle yeni durumlara adapte edilmelidir (GM, 1998).

4.5.2 Çalışmanın Tamamlanması

Bir HTEA çalışması tam olarak bitirilebilir mi? sorusu “evet” diye cevaplandırılabilir. Aslına bakılacak olursa HTEA’nın yaşayan bir sistematik olduğu söylenmişti. Ancak, çalışma belirli etaplara ayrılabilir ve her etabın bir tamamlanma noktası söz konusudur. Eğer ilerleyen dönemlerde çalışmaya tabi olan yapıda bir değişiklik olursa HTEA’nın yenilenmesi söz konusu olabilir ancak bu ilk çalışmaya göre yeni bir uygulama olacaktır. Her bir özgün çalışmanın tamamlanması, tasarımın kabul edilip yürürlüğe sokulması ile olacaktır. Ancak her bir çalışma sonrasında, kritik konular, yapılacak iyileştirmeler ve gerekiyorsa ek kontrol operasyonları dökümanite edilmiş olmalıdır. HTEA çalışması ile ortaya çıkan

dökümantasyonun ürün ömrü boyunca uygun koşullarda muhafaza edilmesi de yerine getirilmesi gereken önemli bir konudur (Stamatis, 1995).

4.5.3 Ekip / Grup

HTEA çalışması bireysel bir faaliyet olarak düşünülemez. Genellikle firmaların belirli bir alanında ve özel bir durum üzerinde çalışılacağından çalışma yapacak ekiplerin çok yaygın bir yelpazeden kişilerce oluşturulması tercih edilmez. Ekiplerin söz konusu özel konu veya durumla doğrudan ilgili kişilerce oluşturulması daha makul bir yaklaşım olacaktır. Ancak yine de ekibin sadece tek bir fonksiyondan kişilerin biraraya gelmesi ile yapılanamayacağı da açıktır. Dolayısıyla değişik fonksiyonlardan çok disiplinli ekipler kurulmalıdır.

Ekip, organizasyonel hedefleri yerine getirebilmek için problemleri çözme, süreçleri iyileştirmeye yönelik olarak biraraya gelmiş ve bireysel yeteneklerin grup sinerjisinden yararlanan bir yapıdır.

Ekip çalışmalarının başarısını destekleyen, arttıran faktörler aşağıda özetlenmiştir (Stamatis, 1995). Bu faktörler organizasyonel bazda olabileceği gibi ekibin kendi çalışma şeklinde ve bireysel de olabilir.

Organizasyonel başarı faktörleri:

- Organizasyonun genel felsefesi,
- Ödüllendirme yöntemleri,
- Beklentiler,
- Genel çalışma düzeni.

Ekibin kendisinden kaynaklanan başarı faktörleri:

- Toplantı yönetimi,
- Ekip üyelerinin rolleri ve sorumluluklarının tanımlanması,
- Çatışma yönetimi,
- Operasyonel düzenlemeler,
- Ekip vizyonu ve misyonu,

Bireysel başarı faktörleri ise:

- Kendini tanıma,
- Bireysel farklılıkları kabullenme,
- Empati,
- Diğer bireylere duyulan saygıdan oluşur.

HTEA çalışması veya farklı konularda bir grup çalışması yapılacak organizasyonlardan ve bu organizasyona dahil ekip ve bireylerden yukarıdaki kriterlerden hiç değilse birçoğuna sahip olmaları beklenir. Bu husus çalışmanın genel verimi açısından çok önemlidir. Bunlara ilave olarak çalışmanın firmaya katkı sağlayacak bir sonuca ulaşabilmesi için yönetim tarafından;

- Amaçın ortaya konması,
- Ekibe gereken yetki ve sorumluluğun verilmesi,
- Sınırların tanımlanması,
- Kurulabilecek ilişkilerin tanımlanması ve desteklenmesi,
- Çalışma sırasında belirli periyotlarda gözlem ve sürekli destek sağlanmalıdır.

Bu konular tamamıyla yerine getirildikten sonra çalışmanın genel başarısı büyük oranda ekip liderinin yaklaşımına bağlıdır. Ekip lideri, ekibin tüm üyelerine eşit mesafede durarak ve gereken desteği sağlayarak tüm fikirlerin ortaya çıkmasını sağlamalı, gereken durumlarda çatışmaları yönetmeli ve çözüme bağlamalı, kararsız kalan noktalarda yine ekibin sinerjisinden yararlanarak bir çıkış yolu bulunabilmesi için bireyleri hareketlendirebilmeli, çıktılarını yönetime uygun bir şekilde raporlanabilecek şekilde özetleyerek ayırıştırmalı ve tüm aşamalarda gereken motivasyonu sağlayarak çalışmayı tamamlayabilmelidir.

Genel olarak çalışmanın tümü bir problem çözüme çalışması olarak kabul edilebilir ve süreç genel problem çözüme yöntemleri çerçevesinde adımlandırılabilir.

Adım 1. Tanımlama

- Problemin tanımlanması

Adım 2. Amaçın ortaya konması

- Çalışmanın hedefinin belirlenmesi

- Mevcut durumun tam olarak somut verilerle ortaya konması

Adım 4. Analiz

- Problemin verilerle analizi
- Alternatif çözüm önerilerinin ortaya çıkarılması
- Önceliklendirme ve seçim

Adım 5 Uygulama

- Seçilen çözüm önerisi veya önerilerinin uygulanması

Adım 6. Değerlendirme

- Çözüm önerisinin uygulama sonrasında değerlendirilmesi

Adım 7. Takip

- Sonuçların takibi

Adım 8. Geliştirme

- Durumun sürekli takibi ve gereken durumlarda yeni uygulamalar

Yukarıda verilen sıralama çok uzun yıllardan beri bir takım ilave veya eksikliklerle ve değişik isimler altında farklı kaynaklarda verilmektedir. Birtakım modüllerin ilavesi veya çıkarılması temel yapıyı çok fazla değiştirmez ve genel yaklaşımı bozmaz. Ayrıca modelde verilen adımların her birine yönelik olarak değişik teknikler veya araçlar kullanılabilir. Özet olarak yukarıdaki yapının diğer tekniklerle desteklenmesi gereken genel bir akış olduğu söylenebilir.

Bu yapı doğrultusunda ekip lideri çalışmayı sürdürür. Çalışmanın devamı sırasında ekip lideri ekip üyelerinin katkısını dikkatle gözlemleyerek çalışmanın sağlıklı bir şekilde devam ettirilmesini sağlamalıdır. Genel olarak görüş toplanması sırasında beyin fırtınası yöntemi ile üyelere sırasıyla söz verme ve görüş alma uygulanır. Ancak bu sırada bazı konulara dikkat edilmelidir. Ekip çalışmaları sırasında çalışmaya daha önceki bölümlerde verildiği şekilde sağlıklı bir şekilde devam edilmesine yönelik destek veren olumlu ekip üyelerinin yanısıra “Zor Bireyler / Üyeler” diye adlandırılacak kişilerle de karşılaşılabilir. Bunlar genel olarak 3 gruba ayrılırlar (Jones, 1980).

lideri arasındaki bir diyaloga dönüşür ve bu durum diğer ekip üyelerinin ilgilerinin dağılmasına sebep olur. Oysa, mutlaka diğer üyelerin de söyleyebilecekleri çok değerli ve kayda değer fikirler vardır. Aslında bu tarz çok konuşan kişiler de kendi aralarında gruplara ayrılabilir. Bazı kişiler daha önceki tecrübeleri veya aldıkları eğitim nedeniyle diğer üyelere kıyasla konu hakkında daha fazla fikre sahip olabilirler ve bu fikirlerini ortaya koymak isteyebilirler. Bu olumlu bir durumdur ve bu kişiler ekip liderinin kontrolü altında bir uzman rolü alıp çalışmanın koçu haline gelebilirlerse ekibin başarısına katkıları olacağı mutlaklıdır. Ancak bunun çok hassas bir şekilde kontrol altında tutulması gereken bir durum olduğu unutulmamalıdır. İkinci durum, bazı üyelerin tamamen kendi egolarını tatmin için diğer katılımcıların konuşmalarını böldükleri durumdur ki bu kesinlikle tolere edilmemesi gereken bir konudur. Ekip lideri çalışmanın en başında bu tarz davranışlara izin verilmeyeceğini belirtmeli ve böyle bir durum ortaya çıktığı anda müdahale etmelidir. Üçüncü kategoride çok konuşan grup üyelerine müdahale eden diğer üyeler ele alınabilir. Aslında bu davranış çalışmanın verimliliği açısından olumlu bir yaklaşımdır ancak konuşmasına müdahale edilen kişinin böyle bir davranıştan rahatsız olacağı da açıktır. Tüm bireylerin konuları ifade etme yöntemlerinin aynı olamayacağı son derece doğaldır. Dolayısıyla bazı kişiler söyleyeceklerini daha uzun ve detaylı olarak anlatma yolunu seçerler. Böylesine bir duruma müdahale son derece hassas bir şekilde yapılarak çalışma tekrar verimli hale getirilmelidir. Ekip lideri böylesine bir durumda her iki tarafın da motivasyonunu azaltmadan uygun bir şekilde her iki katılımcının da haklı ve haksız yönlerini vurgulayarak konuyu çözüme kavuşturmalıdır. Diğer bir konu da grup içinde kendi arasında konuşan kişilerdir ki böylesine bir durum kesinlikle kabul edilemez.

Az konuşanlar; Bazı ekip üyeleri kendi kişilikleri nedeniyle veya konuya tam hakim olamadıklarından katılımcı olmazlar. Bu tip kişilerin ekip lideri tarafından kendilerine yöneltilecek doğrudan sorularla katılımcılığı artırılmaya çalışılır. Konuya hakimiyette eksiklik olduğu kesinse bu durumu gidermeye yönelik olarak problem ve hedefler kendilerine tekrar anlatılabilir.

Konu harici konuşanlar; Bu durum grup çalışmalarında çok sık karşılaşılan bir durumdur. Bazı üyeler bir şekilde çalışma konusunun dışına çıkarak geçmiş olayları veya ileriye dönük düşünceleri dile getirebilirler. Bu durum ekip liderinin

müdahalesi ile önlenmelidir. Konu dışına çıkan katılımcının ısrarını önmesi durumunda ekibe yöneltilen “Bu yönde devam etmemiz uygun olur mu?” veya “Bu noktanın konumuzla bağlantılı olduğunu düşünüyor musunuz?” gibi sorularla grubun da desteği istenebilir.

Sonuç olarak, HTEA’nın, bu tip çalışmaların yararına inanan ve genel felsefeleri ve yapılanmaları bu tip çalışmalara uygun organizasyonlarda, iyi oluşturulmuş çok disiplinli ekipler ve bu tip ekipleri verimli bir şekilde yönetebilecek tecrübeye sahip ekip liderlerinin başkanlığında uygulandığında yararının çok daha fazla olabileceği söylenebilir.

4.6 Teknik

Önceki bölümlerde HTEA yönteminin Sistem veya Ürün tasarımı ve Proses veya Servis / Bakım faaliyetlerinin tasarımında kullanılabileceği belirtilmişti. Bunlara ilave olarak bazı durumlarda ürün ve bu ürünün üretileceği proses de beraber olarak ele alınabilir. Aralarında küçük farklar olmakla beraber tüm bu başlıklar için kullanılacak teknik aynıdır. Bundan sonraki kısımlarda ifade birliğini sağlayabilmek için yöntem Ürün Tasarımı konusu üzerinden açıklanacaktır.

4.6.1 Hata Türleri, Etkileri ve Sebeplerinin Belirlenmesi

Yöntemin uygulanması ile ürünler üzerinde potansiyel olarak ortaya çıkabilecek hataların önlenmesi hedeflendiğinden ilk aşamalarda çalışma, birtakım tahminler ve kabuller ile ilerleyecektir (Stamatis, 1995). HTEA yönteminin uygulanmasında tüm çalışma 65. sayfada örneği verilen özel bir form üzerinde sürdürülür (Şekil 4.1). Bu form çalışmanın kolay izlenebilir bir şekilde ve herhangi bir konunun unutulmadan devam ettirilebilmesi açısından son derece kullanışlıdır. Çalışmanın ilk bölümünde öncelikle tasarımı yapılan ürünün kullanılması sırasında ortaya çıkabilecek hata türleri tahmin edilmeye çalışılacaktır. Bu yapılırken, hedef kullanıcıların beklentileri, benzer ürünlerde daha önce yaşanan deneyimler ve ekibin genel deneyimleri ön plana çıkacaktır. Daha sonra her bir hata türünün etkileri ve bu hataya sebep olan durumlar ortaya konulur. Hata türleri, etkileri ve sebeplerinin yanısıra bazı çalışmalarda her sebebe karşılık gelen mevcut veya uygulanması düşünülen kontroller de analiz formlarında bir sütun halinde yer alır (Stamatis, 1995). Bu noktada her bir hata türünün tek bir etkisi ve sebebi olabileceği gibi

etkiler ve sebepler birden fazla da olabilir ve çalışmaların çoğunda karşılaşılan durum bu yöndedir. Hataların etki ve sebeplerini ortaya koymak için yapılan analiz sırasında da yine bazı tahminler ve kabuller sözkonusu olacaktır. Çalışmanın ana hedefi problemlerin kullanıcılara ulaşmadan çözülmesi olduğundan bu kısımda yapılacak tahmin ve kabuller olayın bütünüün verimi açısından son derece önemlidir (Yazgaç, 1993).

4.6.2. Hata Türlerinin Sebeplerinin Önceliklendirilmesi

İkinci aşamada her bir hata türü sebebi Olasılık, Şiddet ve Keşfedilebilirlik açısından puanlanarak ve daha sonra her üç puanın çarpımından bir RÖG (Risk Öncelik Göstergesi) hesaplanarak önceliklendirilir.

Burada “Olasılık” hataya yol açabilecek sebebin frekansı, “Şiddet” etkisin ciddiyeti ve “Keşfedilebilirlik” de sözkonusu sebebin ve buna bağlı olarak hatanın kullanıcıya ulaşmadan farkedilebilme imkanıdır. Bu kısımda yapılan değerlendirmeler kalitatif veya kantitatif olabilir. Kalitatif yöndeki değerlendirmelerde belirli istatistik hesaplamaları kullanan teorik kabuller yapılmasına karşın, kantitatif değerlendirmelerde geçmiş veriler kullanılabilir. Bu değerlendirmelerde 1 den 5 veya 10’ a kadar olan derecelendirmeler kullanılır. 10 dan fazla bötümlendirmeye sahip derecelendirmelerin kullanılması tavsiye edilmez. Bu konuda hazırlanmış ve uluslararası boyutta kabul görmüş bazı hazır tablolar kullanılabilir (Tablo 4.2). Bu ve benzeri tablolar ekibe bir fikir vermesi açısından önemlidir (Stamatis, 1995). Ancak bu kısımda yapılan tahmin ve kabullerde de asıl öncelik ekip üyelerinin deneyimleri, geçmiş veriler ve istatistiki hesaplamalardır.

Yukarıdaki aşamalardan sonra Risk Öncelik Göstergelerinin hesaplanması ile elde edilen puanlardan hareketle hangi hata türleri ve sebeplerinin düzeltici faaliyetler uygulanarak çözülmesi gerektiği saptanır. Bu noktada doğaldır ki yüksek RÖG değeri alanlar diğerlerine kıyasla öncelik kazanacaklardır (Yazgaç, 1993). Bu şekilde tüm hata türleri ve sebepleri en yüksek RÖG puanı olandan en küçüğe doğru bir sıralama ile önceliklendirilebilir. Bu aşamadan sonra hangi hata türleri üzerinde yoğunlaşılacağını belirleyebilmek için bir eşik değeri saptanması gerekir.

Eşik değeri belirleyebilmek için belirli bir güven seviyesinin kabul edilmesi en uygun yöntemdir. Her üç önceliklendirme kriteri için 10’lu derecelendirme

kullanıldığı düşünüldüğünde toplam puanın $10 \times 10 \times 10 = 1000$ olacağı açıktır. %99 istatistiksel güven hedeflendiğinde $1000 - 990 = 10$ olacaktır ve bu durumda RÖG puanı 10'un üzerinde olan her hata türü ele alınmalı demektir. Oysa istatistiksel güven seviyesi %90 kabul edildiğinde eşik değeri 100 puana çıkacaktır.

Sonuç olarak, aslında eşik değer kabulünün de ekibin sorumluluğunda saptanması gerektiğini söylemek en doğru yaklaşım olacaktır. Burada ekip istatistiksel güven seviyesinin yanısıra firmanın ve ürünün pazardaki imajı ve konumu, ürünün kullanım yerinin kritikliği ve problemlerin giderilebilme kolaylığı veya zorluğunu, ürünün fiyat ve rekabet seviyesini de dikkate alarak en uygun eşik değeri belirler. Aslında bu noktaya kadar özellikle puanlama ile ilgili olarak yapılan bir çok kabul HTEA yönteminin zayıf yönlerinden biridir. Bu noktalarda geçmiş deneyimler ve ekibin konuya yaklaşımı büyük önem taşır ve yapılanlar kısmen subjektif değerlendirmelerdir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında önceliklendirme kısmının daha matematik tabanlı bir karar verme yöntemi ile desteklenmesi düşünülmüştür.

Tablo 4.2 Tasarım HTEA için Değerlendirme Tablosu (Stamatis, 1995)

Puanlama	Olasılık	Şiddet	Keşfedilebilirlik	Kullanıcıya Ulaşma Riski
1-2 Çok düşük, yok	10^4 ila 10^6 da 1	Düşük	Ürün onaylanmadan farkedilebilir	Yok
3-4 düşük minör	10^4 ila 10^6 da 2 ila 10	Düşük performansla çalışma	Üretim öncesi farkedilebilir	Çok düşük
4-6 belirgin	10^4 ila 10^6 da 11 ila 25	Önemli performans azalması	Üretim sonrası sevkiyat öncesi farkedilebilir	Belirgin
6-8 yüksek	10^4 ila 10^6 da 25 ila 50	Ürünün çalışmaması	Ancak kullanıcı farkedebilir	Yüksek
8-10 çok yüksek	10^4 ila 10^6 da 50'den çok	Hayati hata	Yaşamsal risk oluşmadan farkedilmez	Çok yüksek

4.6.3 Saptanan Hata Türleri İçin Gereken Önlemlerin Alınması

Belirlenen eşik değerin üzerinde kalan tüm hata türü sebepleri için düzeltici önlemlerin saptanması gerekir. Bu durum ekip tarafından yapılabildiği gibi her konu ile ilgili olarak görev verilen kişi veya farklı gruplarca da ele alınabilir. Bu noktada çoğunlukla düzeltici önlemlerin sorumluluğu (saptanması, uygulanması ve takip edilerek sonuçlarının değerlendirilmesi) HTEA çalışmasını yapan grubun dışındaki veya gruptan ayrı olarak görev alabilecek grup üyeleri veya gruplara verilir. Belirli bir termin çerçevesinde bu çalışmaların tamamlanması istenir.

Bu durum çalışmanın asıl önemli kısmının kısmen ekibin sorumluluğu dışına çıkması nedeniyle bazı kaynaklarda eleştirilir (GM, 1998).

Düzeltilici faaliyet uygulanacak sebepler için ya faaliyetler tamamen uygulanıp sonuçları alındıktan sonra, ya da her faaliyetin sorumlusundan ileriye dönük olarak alınan öngörüler çerçevesinde RÖG puanları yeniden hesaplanır ve ikinci hesaplama sonrasında bulunan puanların en başta kabul edilen eşik değerden aşağıda olması beklenir (Ford, 1992). Bu kısmın da tamamlanması ile HTEA çalışması bitirilmiş olur ve ilk olarak çalışmanın öncelikli müşterisi olan Tasarım Bölümüne raporlanır. Aslına bakılırsa, zaten tasarıma yönelik HTEA çalışmalarında mutlaka ilgili bölümden bir katılımcı, ekip üyesi veya lideri olarak çalışmanın içinde olacaktır. Dolayısıyla çalışmanın devam eden etaplarında tasarım bölümü ile sürekli ve karşılıklı bilgi alışverişi devam ettiğinden zaten ilgili tasarımcılar konu ile ilgili bilgilere ve çıktılara sahip olacaklardır, ancak yine de grup tarafından varılan mutabakat ile oluşturulan bir raporlama, hem çalışmanın resmi anlamda tamamlanması hem de üst yönetime bilgi aktarımı açısından önemlidir. Sonuç raporunda analiz formu önemli bir yer tutar, ancak buna ilave olarak hata türleri, etki ve sebeplerinin tanımlanmasında ve önceliklendirmelerde yapılan kabullerin verilmesi raporun daha içerikli ve anlaşılır olmasını sağlayacaktır.

Görüldüğü gibi HTEA yöntemi, sistem, ürün, proses ve servis/bakım faaliyetlerinin tasarımında hataların/problemlerin kullanıcılara ulaşmadan tanımlanması ve ortadan kaldırılması için geliştirilmiş, uygulanması oldukça kolay ve etkin bir yöntemdir. Günümüzde hataları oluşmadan önlemeye yönelik olarak HTEA yönteminin yanısıra kullanılan;

- Hata Ağacı Analizi,
- Proses Akış Diyagramları,
- Fonksiyonel Akış Diyagramları veya Blok Diyagramları,
- Talep ve Fizibilite Analizi,
- Hata Türü Analizi,
- Hata Türü ve Kritikliği Analizi,

gibi alternatif yöntemler de bulunmakla beraber hiçbirinin kullanımı HTEA kadar kabul görmemiş ve yaygınlık kazanamamıştır.

4.7 HTEA Yönteminin İyileştirmeye Açık Yönleri

HTEA yöntemi her ne kadar ürün, proses, sistem ve servis konularındaki olası hata risklerini önceden belirleyebilmek için kullanılan çok etkin bir yöntem olsa da sözkonusu yöntemin de bazı iyileştirmeye açık yönleri mevcuttur. Bunlar değişik literatürlerde dile getirilmekte olup aşağıdaki başlıklar halinde sıralanabilir.

- Üç kriter çerçevesinde yapılan puanlamalar kısmen subjektiftir. “*It is argued that the FMEA risk priority number method is intrinsically subjective because the guidelines for rating severity, occurrence and detection vary from one institution to another*”. Şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik kriterlerindeki puanlama kuralları uygulamaya yapan bir kuruluştan bir diğerine göre değiştiğinden HTEA’ndeki risk öncelik göstergesi hesaplama yönteminin doğal bir subjektiflik taşıdığı konusunda hemfikir olunmuştur (Kara-Zaitri ve Flemming, 1997).
- Onlu skalada yapılan puanlamada katılımcıların konu ile ilgili bilgi seviyesi ve deneyimleri nedeniyle ciddi sapmalar olmakta uzlaşım güçlüğü yaşanabilmektedir (Stamatis, 1995).
- Çalışmanın başlangıcında yaşanan uzlaşım zorlukları grubu moral olarak etkilemekte, takibeden maddelerin tartışılmasında uzlaşım daha da zorlaşmakta, çalışmanın bütünü bir kısır döngüye girebilmektedir (Stamatis, 1995).

- Yaklaşım üstü kapalı da olsa, önleyici olmaktan çok problem nedenlerinin sıralanmasına ve önceliklendirilmesine odaklıdır (Dale ve Shaw, 1990).
- Tesbit edilen öncelikli sebeplerin çözüm maliyetleri sebeplerin maliyetinden bağımsızdır. Bazı durumlarda çözüm maliyetinin sebep maliyetinin üzerine çıkabilmekte ancak önceliklerin tesbitine bu durumun etkisi yansıtılamamaktadır (Signor, 2002). “*The expected cost of failure mode also helps justify remedial costs*”. “Hata türünün oluşturacağı maliyet çözüm için alınacak önlemlerin belirlenştirilmesini de sağlar” (Gilchrist, 1993).
- Bazı uygulamalarda çözümler, öncelik belirleme grubundan bağımsız başka gruplara havale edilmekte bu durum çalışmanın bütünlüğünü bozarak etkinliğini azaltmaktadır (Dale ve Shaw, 1990).
- Çalışmanın müşterisinin firma üst yönetimi veya müşteri gibi çalışma grubundan bağımsız olduğu durumlarda, öncelik belirleme ve çözüm önerilerinin farklı çalışmalar ve gruplarla ele alındığı projelerde bütünlük bozulmakta proje ve potansiyel problemlerin yönetilebilirliği zorlaşmaktadır (Dale ve Shaw, 1990).

Değişik kaynaklardaki bu tesbitlerin yanı sıra 1990’lı yılların ortalarından bu yana yapılan Arçelik uygulamalarında da benzeri problemler yaşanmıştır.

Bu tesbitlerden sonra tez kapsamında yapılacak çalışma ile yukarıda verilen konuların iyileştirmesi hedeflenecektir. Bu kapsamda çalışmanın hedefleri aşağıdaki başlıklarda toparlanabilir.

- Hata türlerinin değerlendirilmesi ve üzerinde çalışılacak sebeplerin belirlenmesi mümkün olduğunca objektif ve matematik tabanlı bir yöntemle yapılmalıdır.
- Yaklaşım sebeplerin önceliklendirilmesi yerine çözüm önerilerinin önceliklendirilmesine ve ideal çözüm yönteminin belirlenmesine yönelik olmalıdır.
- Karar verme süreci katılımcıların deneyim seviyelerine duyarlılıktan mümkün olduğunca uzaklaştırılmalıdır.
- Yöntem mümkün olduğunca basit ve kolay uygulanabilir olmalıdır.

HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZ FORMU

Uru:

Çalışma Tarihi:

Ürünün Planlanan Üretim Tarihi.

Projé No:

Hazirlayan:

Ekip:

Onay:

Hata Türü	Etkiler	Sebepler	Mevcut Kontrol (Opsiyonel)	Olasılık	Şiddet	Kesfedil.	RÖG	Öneriler	Yapılan	Olasılık	Şiddet	Kesfedil.	RÖG
								Sonuç					

5. KARAR VERME

Tez kapsamında önerilen yeni modelde HTEA yöntemi için matematik tabanlı bir karar verme yöntemi tanımlanması hedeflendiğinden bu kısımda karar verme teorileri üzerinde inceleme ve değerlendirme yapılmıştır.

Karar verme, algılanan ihtiyaçlara özgü kasıtlı ve düşünceli seçim olarak tanımlanabilir (Kleindorfer ve diğ., 1993). Karar Verici (KV) mevcut tüm seçenekler arasından amacına veya amaçlarına en uygun, mümkün bir veya birkaç seçeneği seçme süreci ile karşılaşılır (Evren ve Ülengin, 1992b). Karar vermenin, veri toplama, ağırlıklandırma, olası diğer seçenekleri arama ve yeterince değerlendirilmiş bir seçim yapma gibi adımlardan oluştuğu söylenebilir (Liebowitz, 1990). Her ne kadar yukarıdaki tanımlamalarda seçim ön plana çıksa da genel hali ile karar verme, KV'nin mevcut seçenekler arasından bir seçim, sıralama ya da sınıflandırma yapması ile bir sorunu çözmesi sürecidir (Topçu, 2000).

Karar verme bir laboratuardaki ideal koşullar altında gerçekleşmez. Gerçek ve karmaşık bir dünyaya özgü sorunlar için kullanılan söz konusu yöntem bilim bu karışıklığın üstesinden gelebilecek esneklikte ve genişlikte olmalıdır (Kleindorfer ve diğ., 1993). Sadece sorunun nasıl çözüleceği değil, aynı zamanda sorunun tanımlanıp modellenmesi ve uygulanan karara göre karşılaşılan sonuçlardan alınan dersler de en azından çözüm kadar önemlidir.

Verdiğiniz kararlara bağlı olarak kim ve ne olduğunuz, nerede bulunduğunuz, ne kadar mutlu olduğunuz belirlendiğinden veya alınan kararlar KV'nin konumuna göre bireyin veya grubun kendisi dışında toplum esenliğini etkileyebileceğinden kararların doğruluğu veya kalitesi insan hayatı boyunca önemli bir yer tutar. İyi bir karar;

1. Mantiğa dayanır
2. Tüm mevcut kaynakları kullanır
3. Tüm olası seçenekleri inceler
4. Sayısal bir yöntem uygular

Her ne kadar karar vermenin nasıl iyileştirileceği için ortak bir kanı olmasa da iyi karar verme için anahtar Karar Verme Sürecine dahil olan kişilerin tercihleri, düşünceleri ile konuyla ilgili bilgileri birleştiren yapısal bir yöntem kullanmaktır (Kirkwood, 1997).

Yapılan çalışmalarda karar verme sürecinin kalitesini ölçecek tek bir ortak ölçüt saptanamamıştır. Karar vermenin kalitesini ölçmek için finansal başarı gibi ölçütler önerilse de tek başına yeterli olduğu söylenemez. Ticari boyutta düşünüldüğünde, kuruluşların geçmişlerinde verilen kararların yanısıra, şans, siyasi konjonktür gibi diğer önemli faktörler de yer tutar. Aslında, iyi karar verme ile mutlak başarı arasında doğrudan bir ilişki olduğu da söylenemez.

İyi karar verme sistematik düşünce ile oluşur (Hammond ve diğ., 1999). Sistematik yaklaşım KV'nin;

1. Doğru sorunlar ile ilgilenmesini
2. İlgili kriterleri anlaşılır hale getirmesini
3. Yaratıcılık ile seçenekler geliştirmesini
4. Çakışan kriterler arasında uzlaşa ve önceliklendirme sağlanmasını
5. Verilecek kararın sonuçlarının anlaşılır olmasını sağlar.

Tüm bunların ışığında karar verme sürecinin kalitesini yükseltebilmek için KV'ye destek olucu yaklaşımlar kullanmanın son derece yararlı olacağı söylenebilir.

5.1 Karar Analizi

Karar Analizi, karar vermeye analitik ve sistematik bir yaklaşım getiren karar teorisini gerçek hayatın içindeki sorunlar için uygulamayı önerir (White, 1990). Karar verme gerektiren sorunların matematiksel modelini ortaya koyan ve bir hareket tarzı öneren bir yöntem olarak da karar analizi tanımlanabilir (Evren ve Ulengin, 1992a).

Karar Analizi, seçim veya sıralama gerektiren kararların verilebilmesi için kullanılan sayısal yöntemlerden oluşur. Bir çok Karar Analizi uygulaması stratejik veya politik etkileri olan kararların alınması ile ilgilidir.

Karar Analizi gerektiren sorunlar aşağıdaki özelliklerden en az birini barındırır:

1. Birbiri ile çelişen çok sayıda kriter
2. Birbirinden nitel veya nicel açıdan farklı çok sayıda seçenek
3. Sorunla ilgili karar vermesi gereken kişiler ve sonuçlarına katılanlar
4. Konu ile ilgili sınırlı veri
5. Organizasyonel risk oluşturan belirsizlik
6. Uzun vadeli etkiler

Karar Analizinin amacı KV'ye karar verme ile ilgili tüm seçenekler arasından en iyi (optimum) seçeneği seçmede veya öğelerden birinin KV tarafından doğrudan yargıyla seçilebilecek seçenek kümesini oluşturmada yardımcı olmaktır

5.2 Karar Verme Süreci

Karar Verme Sürecine ilişkin adımlara yönelik çok çeşitli fikirler olmakla beraber aşağıdaki adımlandırma sağlıklı ve uygulanabilir bir yaklaşımdır (Topçu, 2000).

1. Sorunun Yapılandırılması

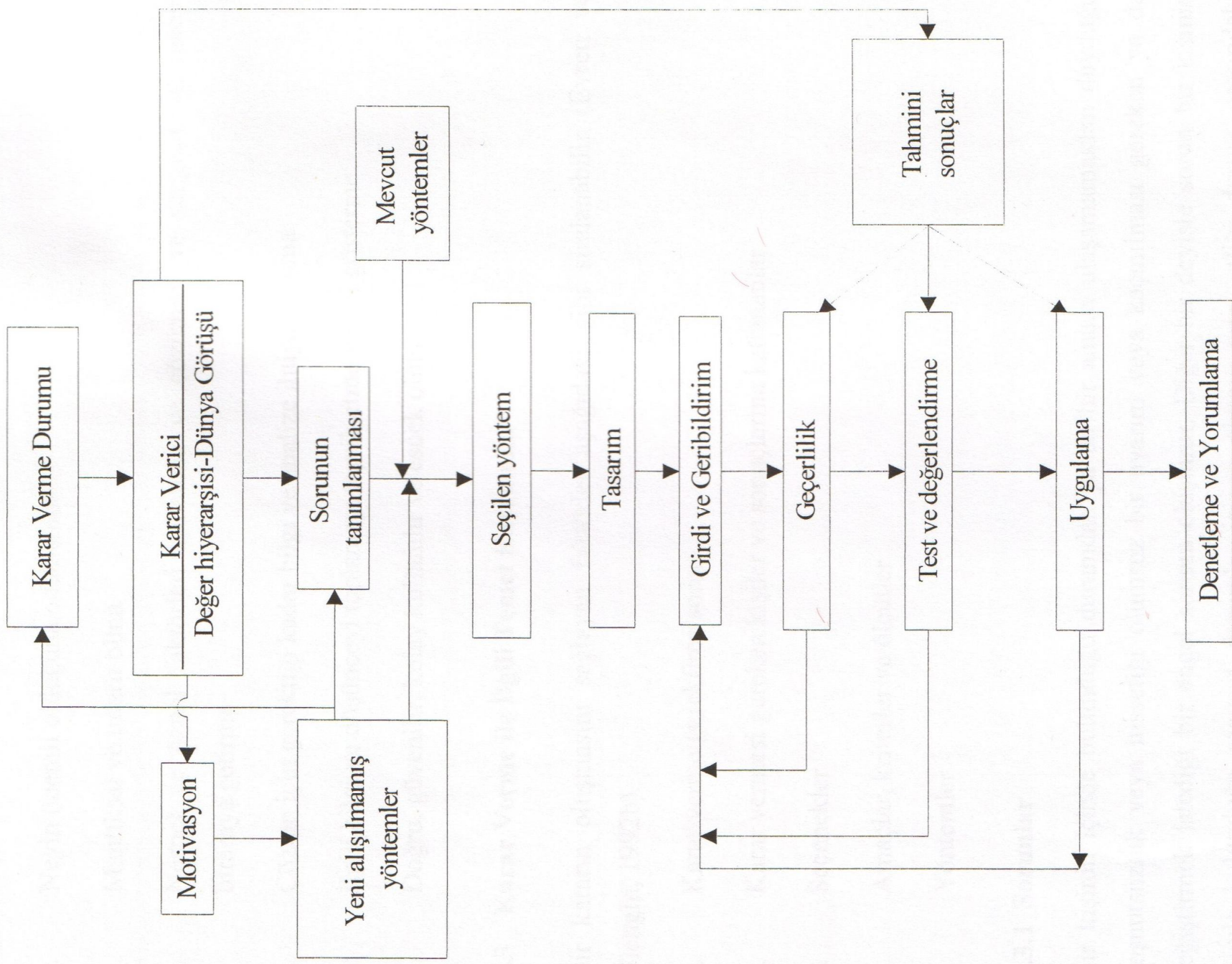
Başlangıç belirsizliğini azaltmak için sorunun dikkatlice incelenip araştırılması ve Çok Kriterli Karar Vermenin uygun bir araç olup olmadığının belirlenmesi. Eğer uygunsa Karar Verme Durumunun anlaşılır hale getirilmesi için karar vermesi gereken kişiler ve kararın sonuçlarına katlanacakların, konu ile ilgili kriterlerin ve değerlendirilecek seçeneklerin ortaya çıkarılması.

2. Karar Modelinin Kurulması

KV'nin hedeflerini ortaya çıkaran ve KV'nin ulaşmak istediği amaçlarını gösteren modelin kurulması için seçeneklerin kriterlere göre performans değerlerinin elde edilmesi ve KV'nin tercihlerinin modellenmesi.

3. Sorunun Çözümlemesi

Kurulan model kullanılarak farklı bakış açılarını yansıtan seçeneklerin kriterlere göre değerlendirmelerinin Karar Verme Durumuna uygun bir değerlendirme yöntemi ile bir araya getirilmesi ve karar sorununa uygun bir çözümün bulunması veya önerilmesi. Gerekliyorsa, Duyarlılık Analizi ile çözümün doğrulanması.



Şekil 5.1. Karar Verme Süreci (Topçu, 2000)

diğ., 1999).

1. Neyin önemli olduğuna odaklanma
2. Mantıksal ve tutarlı olma
3. Nesnel ve öznel faktörleri kullanma ve çözümsel ve sezgisel düşünceyi biraraya getirme
4. Çözüm için gerektiği kadar bilgi ve analize ihtiyaç duyma
5. İlgili bilgi ve düşünceyi toplamayı teşvik etme ve yol gösterme
6. Doğru, güvenilir, kolay kullanılır ve esnek olma

5.3 Karar Verme ile İlgili Temel Kavramlar

Bir kararın oluşmasını sağlayan faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Evren ve Ülengin, 1992b).

1. Karar verme gerektiren sorun
2. Karar vermesi gereken kişiler ve sonuçlarına katılanlar
3. Seçenekler
4. Amaçlar, kriterler ve ölçütler
5. Yöntemler

5.3.1 Sorunlar

Bir kişinin içinde bulunduğu durumdan ya da bir amaca ulaşamamaktan duyduğu hoşnutsuzluk veya hissettiği olumsuz bir uyarım veya kaçınılması gereken ya da değiştirmek istediği bir engel sorunu oluşturur. Diğer bir deyişle sorun bir kişinin içinde bulunduğu mevcut durumla, içinde olmayı arzu ettiği durum arasındaki farklılık olarak tanımlanabilir (Topçu, 2000).

Sorunu çözmek isteyen kişi tercih, inanış ve değerlerini kullanarak amaçlarını elde etmek ve içinde bulunduğu mevcut durumla, içinde olmayı arzuladığı durum arasındaki farkı kapatmak ya da en azından azaltmak ister. Bu faaliyet karar verme ile sonuçlanabileceği gibi, seçenekler arasında sıralama ya da sınıflandırma da yapılabilir.

Tez kapsamında ele alınan HTEA uygulamalarındaki problemlerde genellikle seçenekler ve ölçütler belirli sayıda olduklarından çalışma kapsamında daha çok Çok Kriterli Karar Verme gerektiren sorunlar üzerinde durulacaktır. Klasik bir Çok Kriterli Karar Verme Sorunu en genel hali ile “verilen bir Karar Kümesi içinden Karar Verme Durumuna bağlı olarak en iyi kararı seçme” olarak tanımlanabilir (Bell ve diğ., 1988).

Çok Kriterli Karar Verme sorunları özelliklerine göre en genel şekliyle aşağıda tanımlanmıştır (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 Sorunları Sınıflandırma Çeşitleri (Topçu, 2000)

Sınıflandırmada kullanılan kriter	Sınıflar
Kriter sayısı	Çok kriterli (amaç, ölçüt) sorun Tek kriterli (amaç, ölçüt) sorun
Karmaşıklıkları	Karmaşık sorun Basit sorun
Veri gereksinimi	Çok veri gerektiren sorun Az veri gerektiren sorun
Durum	Kesinlik altında karar verme Belirsizlik altında karar verme Risk altında karar verme
Yapıları	İyi yapılandırılmış sorun Orta derecede yapılandırılmış sorun Kötü yapılandırılmış sorun
Yapıların kurulma zorluğu	Mantuksal yapı Kolay anlaşılır fakat gösterimi net olmayan Kolay anlaşılır değil ancak veri analizi ile netleşir Bireysel değişkenlerin etkisi nedeniyle deney gerekir Yeterli veri yok, deney olanaklı değil
Sıklık ve tekrar	Yüksek sıklık ve tekrara sahip sorun Düşük sıklık ve yüksek tekrara sahip sorun Düşük tekrar yüksek sıklığa sahip sorun Düşük tekrar ve sıklığa sahip sorun

En tatmin edici eylemleri ya da diğer tüm eylemlere baskın eylemleri barındıran mümkün olduğunca sınırlandırılmış en küçük eylemler alt kümesi oluşturulur.

2. Sınıflandırma / Ayırma

Önceden tanımlanmış kategorilere tüm eylemler atanır. Böylece eylemler kümesi belirli ilkelere göre alt kümelere bölünmüş olur. Örnek: teşhis, bilimsel tetkik veya karar gerektiren sorunlar, kabul red sorunları.

3. Sıralama

Eylemlerin; azalan tercihler yönünde, en iyiden en kötüye, mümkün olduğunca zengin, kısmi veya tam tersi bir sıralaması oluşturulur. Örnek olarak yarışma benzeri sonucu sıralama olan tüm sorunlar.

5.3.2 Karar Verme Sürecine Katılanlar

Herhangi bir karar verme gerektiren sorunun çözümü aşağıdaki kişilerin Karar Verme Sürecine katılmasını sağlar.

KV / Sorun Sahibi: Sorun durumunun belirli yönleri, özellikle alınacak karar üzerinde kontrolü olan kişi veya grup.

Çözüm Kullanıcı: KV tarafından oluşturulan çözümü kullanan ve/veya kararı uygulayan fakat çözüm/karar üzerinde herhangi bir etkisi olmayan kişiler veya gruplar

Sonuçlara Katılanlar: Çözümün veya kararın sonuçlarından faydalanan ya da zarar gören kişiler

KA / Sorun Çözücü: Sorunu analiz eden ve KV için çözüm geliştiren veya çözüm sürecine katkıda bulunan analist.

Örneğin bir şirketin piyasaya yeni bir ürün sürüp sürmeme için danışman bir firma ile çalışıp karar alması durumunda; sorun sahipleri (KV'ler) şirket yöneticileri, çözüm kullanıcıları pazarlama bölümü çalışanları, sorun müşterileri (sonuçlarına katılanlar) şirketin ürünlerini satın alan müşteriler, sorun çözücü KA ise danışman firmadır.

Karar Verme Süreci içinde açıkça bir KV olsa da, bu süreç sırasında diğer insanlar tarafından söz konusu KV büyük ölçüde etkilenir. Tek başına karar veren ve dış

çevreden etkilenmeyen bir KV yoktur. KV grup adına dolayı bir şekilde karar veren kişi olabileceği gibi bazı durumlarda direkt bir KV olmayabilir.

5.3.3 Seçenekler

Bir karar verme sorunu ile ilgili faaliyetler, eylemler, kararlar, çözüm alternatifleri sözkonusu Karar Verme Sürecinin seçeneklerini oluşturur. Seçenekler karar vermenin hammaddesidir. Seçenekler, kullanılan yöntemle göre değerlendirilerek içlerinden en iyisi veya en iyilerinden oluşan bir grup seçilir, veya, en iyiden en kötüye doğru sıralandırılır ya da belirli kategorilere göre sınıflandırılırlar (Vincke, 1992).

Seçenekler kümesi iki şekilde tanımlanır.

- Seçenekler sonlu ve sayılabilir olduğu durumda eleman listesi ile; Örneğin, İstanbul – Kopenhag uçuşu için Avrupa'daki belirli noktalarda uçak değiştirme alternatifleri

- Seçenekler sonsuz ya da yeterince çok olduğu zaman matematiksel ilişkiler şeklinde; Örneğin, uçaktan atlayan bir paraşütünün, rüzgar ve hız durumuna göre iniş yapabileceği noktalar

Karar Verme Sürecinde seçeneklerin çokluğu, çözüm alternatiflerinin çoğalmasını dolayısıyla daha iyi bir çözüm elde etme olasılığının artmasını destekler. Unutulmamalıdır ki, seçenekler ne kadar çok olursa olsun, sağlıklı bir Karar Verme Süreciyle hep en iyi seçenek bulunmaya çalışılır.

5.3.4 Amaçlar, Kriterler ve Ölçütler

Bir amaç, bir kişi veya grubun ulaşmak istediği düzeyi temsil eder. Amaçlar seçeneklerin değerlendirilmesi için temel oluşturur (Hammond ve diğ., 1999). Karar verme sırasında amaçların tümünün tanımlanmış olması ve değerlendirme sırasında kullanılması dengesiz bir kararın alınmasını önler.

Kriterler, belirli bir bakış açısına göre seçeneklerin karşılaştırılmasını sağlayan araçlardır (Bouyssou, 1990).

Ölçütler ise amaca ne kadar ulaşıldığını gösteren ölçüdür. Aynı zamanda, ölçütler seçeneklerin temel özellikleri, kaliteleri veya verimlilik parametreleri olarak da tanımlanabilirler (Evren ve Ülengin, 1992b).

5.3.5 Yöntemler

Karar Verme Sürecinde çeşitli yaklaşımlara göre oluşturulmuş çok sayıda yöntem mevcuttur. Bundan sonraki bölümde bu yöntemler özet olarak verilecek ve çalışmamızda kullanılan yöntem detayı olarak ele alınacaktır. Yöntemlerin genel olarak ele alınması oldukça kapsamlı bir bölüm oluşturacağından ayrı bir madde olarak ele alınması uygun bulunmuştur.

5.4 Karar Verme Yöntemleri

Karar verme konusundaki şimdiye kadar verilen genel bilgilendirmelerden sonra, Çok Kriterli Karar Verme çözüm yöntemlerine genel bir bakış yapıldığında seçenek sayısına göre en genel şekliyle aşağıdaki başlıklarda toplandığı görülür (Stewart, 1992);

- Çok Amaçlı Karar Verme:

Uluslararası literatürde Multi Objective Decision Making veya Continuous Decision Making olarak adlandırılan yöntem, seçeneklerin bir matematiksel programlama ile tanımlandığı ve sonsuz sayıda olduğu durumda sürekli karar vermeye dayanır. Örnek: Yukarıda verilen paraşütçü örneği benzeri sorunlar.

- Çok Ölçütlü Karar Verme:

Multi Attribute Decision Making veya Discrete Decision Making olarak adlandırılan yöntemde seçenekler belirli sayıdadır ve kesikli durumda karar verme sözkonusudur. Örnek: Yukarıda verilen uçak değiştirme benzeri sorunlar

HTEA kapsamında ele alınan problemlerde her bir hata türü için çözüm seçenekleri sınırlı sayıda olduğundan çalışma kapsamında Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinden faydalanmak daha yararlı olacaktır.

Karar Verme Yöntemlerini işleyişlerine göre ele aldığımız durumda da aşağıdaki ayrımda gruplanabilecekleri görülür. Ancak, burada Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin çoğunlukla sorunları tamamen matematiksel yaklaşımla ele alıp KV'nin tercihlerini yaptığı ve bu tercihler arasında kurulan matematik modellerle sonuç aradığı gözden kaçırılmamalıdır. Oysa çoğu karar verme durumunda kantitatif değerlerin yanı sıra KV'nin kantitatif değer yargıları da kısmen yer alır. Bu nedenle sorunun ve çözümün kantitatif boyutlarını da değerlendirmek gerekebilir. Bu nedenle yöntemleri değerlendirirken Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin yanı sıra

sorunun ve çözümün organizasyonel, kültürel ve moral boyutunu da ele alan Çok Kriterli Karara Yardım yöntemlerini de değerlendirme kapsamında tutmak yararlı olacaktır.

Yukarıda verilen nedenlerden dolayı Çok Kriterli Karar Verme ve Çok Kriterli Karara Yardım (Destek) yöntemleri aşağıda beraberce değerlendirilecektir.

5.4.1 Değer / Fayda Temelli Yöntemler

- Sayısal Puan Yöntemi altında Basit Toplamlı Ağırlıklandırma, Ağırlıklı Çarpım ve TOPSİS gibi yöntemler mevcut olup bu tez kapsamında Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ve Normalizasyon kullanıldığından bu teknikler ilerki bölümlerde daha detayı olarak ele alınmıştır. Temelde belirli bir baskın çözüm ve diğer alternatiflerin bu çözüme olan mesafelerini belirleme konusunda etkindir.
- Değer Fonksiyonu; Belirli bir baskın çözüm ile etrafındaki olası bölgeler arasında KV'den değişimli bilgi isteme ve bu bilgiye göre çözüm isteme.

5.4.1.1 Çok Ölçütlü Değer Teorisi

Seçeneklerin ölçütlere göre performans değerleri hakkında hiçbir belirsizlik olmaması durumunda kullanılabilecek “Değer Fonksiyonu” temelli sorun çözüm yöntemi Çok Ölçütlü Değer Teorisine dayanır. Teoriye göre söz konusu bileşik değer fonksiyonu (v), ayrıştırılabilir ve toplamsal olarak birleştirilebilir yapıdadır (Evren ve Ülengin, 1992b).

$$v(a_i) = \sum_j w_j v_j(x_{ij})$$

5.1

w_j : j . ölçütün göreceli önemi

$v_j(x_{ij})$: j . ölçüt için kullanılan tek boyutlu değer fonksiyonu

Çok Ölçütlü Değer Teorisine dayanan yöntemde; bileşik değer fonksiyonunun yapısından faydalanılarak, her ölçüt için, KV'nin bir tek boyutlu değer fonksiyonu tanımlaması sağlanır ve bu fonksiyonlar, genelde değiş tokuşa dayalı bir yöntemle hesaplanan göreceli önlemlere göre ağırlıklandırılıp bir araya getirilir (Kirkwood, 1997).

Bu işleyiş tarzı yüzünden söz konusu yöntem, Ağırlıklandırılmış Değer Fonksiyonu Modeli ya da Basit Çok Ölçütlü Değişime Dayalı Puanlama Tekniği olarak isimlendirilir (Kirkwood, 1997).

Elde edilen bileşik değer fonksiyonu her bir seçeneğin global puanını yansıtır ve koşulları kullanılarak seçenekler arasında oluşturulan sıralama KV'ye sunulur.

$$a_i P a_j \Leftrightarrow v(a_i) > v(a_j) \quad 5.2a$$

$$a_i I a_j \Leftrightarrow v(a_i) = v(a_j) \quad 5.2b$$

P : Tercih ilişkisi

I : Kayıtsızlık ilişkisi

Tek boyutlu değer fonksiyonu, kullanıldığı ölçüt için olabilecek veya KV'nin kabul ettiği en kötü performans değerini 0 ve en iyi performans değerini 1 olacak şekilde seçenek performans değerlerini 0-1 ölçeğine dönüştürür. Burada iki farklı fonksiyon olabilir (Kirkwood, 1997);

1. Kesikli Doğrusal (Piecewise Linear) Değer Fonksiyonu

Bir ölçek üzerinde tanımlanan nitel performans değerleri söz konusu ise, değerler parça doğrusal bir fonksiyon olarak gösterilebilir. Performans değerleri arasındaki artışların birbirlerine göre kaç kez önemli oldukları saptanarak fonksiyon çizilebilir.

2. Üssel (Exponential) Değer Fonksiyonu

Performans değerleri nicel ise en kötü değer ile en iyi değer arasında sonsuz sayıda farklı değer olabileceği için kesikli doğrusal fonksiyon yerine sürekli yapıda bir üssel fonksiyon kullanmak gerekebilir.

5.4.1.2 Basit Toplamlı Ağırlıklandırma

Her seçeneğin, tek boyutlu değer fonksiyonu değerlerinin kullanılması yerine, farklı ölçütlere göre elde ettiği performans değerlerinin doğrudan kullanılıp ölçüt görelî önlemlerine göre ağırlıklandırılıp, toplam global puanın elde edilmesine dayanan çok kriterli sorun çözüme yöntemine Basit Toplamlı Ağırlıklandırma (BTA) (Simple Additive Weighting) veya Ağırlıklı Ortalama (Weighted Average) Yöntemi adı verilir. (Kleindorfer ve diğ., 1993). Yöntemin detaylı anlatımı konu bütünlüğü sağlanması amacıyla 6.6.1 Bölümünde yapılacaktır.

5.4.1.3 Ağırlıklı Çarpım

Basit Toplam Ağırlıklandırma Yöntemi gibi seçeneklerin toplam puanlarını temsil eden bir vektör kullanımına dayanan Ağırlıklı Çarpım Yönteminin en büyük özelliği nicel değerlerden oluşan karar matrisi üzerinde normalizasyon işlemi gerektirmesidir. Seçeneklerin global puanları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_i = \prod_j (x_{ij})^{w_j} \quad 5.3$$

x_{ij} : a_i seçeneğinin j . seçeneğe göre performans değeri

Görelî ölçmeler; kar ölçütü için pozitif ve maliyet ölçütü için negatif işareti üs olarak kullanılır.

Her ne kadar normalizasyon işlemi olmasa da üssel işlem yapıldığından bütün x_{ij} değerlerinin birden büyük olması gerekir. Eğer herhangi bir ölçüt için birden küçük değerler varsa tüm değerler bu ihtiyacı karşılayacak şekilde 10^m ile çarpılmalıdır.

Seçeneklerin Ağırlıklı Çarpım ile hesaplanan toplam puanları Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yönteminde olduğu gibi ideal seçeneğe uzaklık hakkında bilgi vermez. Değerleri anlamlı hale getirmek için hesaplanan puanları ideal seçenek için hesaplanacak puan ile orantılama yoluna gidilebilir.

Basit ve anlaşılır bir yöntem olan Ağırlıklı Çarpım Yöntemi, KV'den görelî önlemler haricinde bilgi istemeyen bir yöntemdir. Fakat bu yöntem de nitel performans değerlerini kullanmaz (Topçu, 2000).

5.4.1.4 Topsis

İdeal Çözüm Benzerliğe (Görelî Yakınlığa) Göre Tercih Sıralaması Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) olarak adlandırılan sorun çözüm yöntemi, pozitif ideal çözüme olan uzaklığı en az ve negatif ideal çözüme uzaklığı en fazla olan seçeneği KV'ye sunmaya ve tüm seçenekleri pozitif ideal çözüme benzerliğe göre sıralamaya yardımcı olur.

A tüm ölçütlere göre en iyi performans değerine sahip olan ve gerçek hayatta ulaşılması çok zor olan idel seçeneği temsil ederken; a ise tam tersi bir şekilde tüm ölçütlere göre en kötü performans değerine sahip bir seçeneği temsil etmektedir.

Topsis yöntemi KV'nin ideale yakın çözüm bulma istegini basit varsayımlar altında karşılar fakat nitel performans değerlerine uygulanmaz (Topçu, 2000).

5.4.1.5 Analitik Hiyerarşi Süreci

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), gruplara ve bireylere, Karar Verme Sürecindeki nitel ve nicel faktörleri birleştirme olanağı veren güçlü ve kolay anlaşılabilir bir yöntemdir (Saaty, 1989). AHS her sorun için amaç, kriter, olası alt kriter seviyeleri ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanır. Karmaşık, anlatılması güç veya yapılaşmış sorunlar için genel bir yöntemdir ve üç temel prensip üzerine kurulmuştur:

1. Hiyerarşilerin oluşturulması prensibi
2. Üstünlüklerin belirlenmesi prensibi
3. Mantıksal ve sayısal tutarlılık prensibi

Hiyerarşinin tüm parçaları birbirleri ile ilgilidir ve bir faktördeki değişimin diğer faktörlerdeki değişimleri nasıl etkilediği kolayca görülebilir. AHS'nin hiyerarşik yapısındaki bu esneklik ve etkinlik KV'ye karar sürecinde çok yardımcı olur. Kararları bu yapıda kurarak; bir çok veri türü biraraya getirilebilir, performans seviyelerindeki farklılıklar birbirlerine uygun hale getirilebilir ve farklı gözükten nesneler arasında karşılaştırma yapılabilir.

Bilişsel psikoloji alanında yapılan deneysel çalışmalar insanların bilişsel yeteneklerinin yüksek miktarda bilgi karşısında zayıf düştüğünü göstermiştir. Bu yüzden insanlar karmaşık sorunlarla karşılaştıklarında söz konusu sorunu daha iyi anlayabilmek için sorunu bileşenlerine ayırmalı ve bu bileşenleri hiyerarşik bir şekilde düzenlemelidirler. Diğer bir deyişle karar verme sorununun olabildiğince ayrıntılı bir şekilde ortaya konması ve daha sonra hiyerarşik olarak adlandırılan ve herbiri bir dizi öğeden oluşan katmanlar halinde incelenmesi gerekir.

Hiyerarşi kurmak karmaşık sistemlerle ilgilenmek için etkin bir yoldur. Hem sistem içi organizasyonuna olanak verdiğinden yapısal olarak hem de sistem içi bilgi kontrolü ve iletişimine olanak verdiğinden fonksiyonel olarak etkindir.

Çok amaçlı karar verilirken en temel sorun, değerlendirilen seçenekler için bir çok kriter göz önünde bulundurularak ağırlık, önem veya üstünlük belirlemektir. AHS; bir hiyerarşideki bu tür tercihlerin belirlenmesi yöntemidir.

Betimsel modelleme tarzına sahip ve oran ölçeği kullanan AHS anlaşılır ve kullanımı kolay bir yöntemdir. Yöntemin karşısında ve yanında olanların uzun tartışmalarına neden olmuştur. Yöntemi eleştirenler dezavantaj olarak seçeneklerden birinin değerlendirme dışı bırakılması ya da yeni bir seçeneğin değerlendirmeye alınması durumunda seçeneklerin sıralamasının değişebilmesini, nominal ölçekte alınan bilginin oran ölçeği olarak kullanılmasını göstermişlerdir.

5.4.1.6 Analitik Hiyerarşi Süreci Puanlama Yöntemi

Değerlenecek seçenek sayısının dokuzu (Bronslow ve Watson, 1987) geçmesi durumunda KV'yi aşırı derecede zorlayacak ikili karşılaştırmalar matrisi yerine puanlama kullanmak daha uygun olacaktır.

Bu yöntemde kriter veya alt kriterler anlamlı şekilde bölümlendirilerek puan aralıkları saptanır. Seçenekler, sayıları ne olursa olsun, bulundukları söz konusu puan aralıklarına göre toplam puanları hesaplanarak amaca göre sıralanabilirler (Saaty, 1989).

5.4.2 Üstünlük Yöntemleri

Üstünlük yöntemlerinde hedeflenen, değerlendirmede kullanılan seçeneklerin tercih edilenlerini bir alt küme halinde KV'ye sunmaktır. Üstünlük yöntemleri başlığı altında, KV'den alınan bilgilere göre bir seçeneğin diğer bir seçeneğe göre daha kuvvetli olması ve aksi yöndeki düşüncelerin yeterince kuvvetli olmaması halinde üstünlük ilişkilerini kuran ve bu ilişkileri kullanarak çözüm öneren ELECTRE ve PROMETHEE yöntemleri verilebilir (Evren ve Ülengin, 1992b).

5.4.2.1 ELECTRE

Yukarıda da anlatıldığı gibi ELECTRE yöntemi seçim gerektiren sorunların çözümü için kullanılan bir yöntemdir. Yöntem "Elimination et Choix Traduisant la Realite" cümlesinin kısaltılarak kullanılmasından ismini alır (Evren ve Ülengin, 1992b). Yöntemin detaylı anlatımı konu bütünlüğü sağlanması amacıyla 6.6.1 Bölümünde yapılacaktır.

PROMETHEE yönteminin ismi “Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation” cümlesinin kısaltmasından gelmektedir. PROMETHEE yönteminde üstünlük ilişkilerinin kullanılması seçeneklerin akışına dayalı bir kısmi ön sıralamanın KV’ye sunulması şeklinde sonuçlanır. Buna göre küçükten büyüğe ve büyükten küçüğe doğru iki sıralama tanımlanır. Daha sonra her iki sıralama bir araya getirilerek ideal çözüm aranır (Topçu, 2000).

PROMETHEE II ise akışlar arasındaki farkı alarak Net Akış üzerinden sonuç öneren PROMETHEE I’ in geliştirilmiş versiyonudur.

PROMETHEE yöntemi, üstünlük ilişkilerini kullanan ve KV’tarafından anlaşılabilirliği kolay olan parametreler içerir. Seçenekler arasındaki farkların fonksiyonunu kullandığından ELECTRE yöntemine göre daha kararlıdır. Ancak bu olumlu yönlerinin yanısıra, her ölçüt için kriterlere uyum arandığından kullanımı nisbeten zordur. Performans değerleri arasındaki farkların eşiklerin ne kadar üstünde olduğu önemli değildir. Az veya çok üstünlük aynı kabul edilir.

5.4.2 Etkileşimli Sorun Çözüm Yöntemleri

Bu tip sorun çözüm yöntemlerinin genel yapısı, sorun çözüm adımları sırasında KV ve KA arasında sürekli bir iletişim ile gelişen basamaklı bir yapıdır. Her adımda elde edilen sonuç KV’ye sunulur. Bu çözüm üstüne ilave bilgiler ve tercihlerle yeni bir sonuç elde edilir ve tekrar KV’ye iletilir. Bu adımlar KV’nin ulaşılan çözümü yeterli bulmasına kadar kadar devam eder. Etkileşimli Sorun Çözüm Yöntemleri, KV ve KA arasında sürekli bir iletişim ile problemin salt rakamsal yönü dışında KV’nin beklentilerini de dikkate alan Karara Destek yöntemleri grubuna girer.

Günümüzde kullanılan en tanınmış etkileşimli yöntemler aşağıda verilenlerdir (Topçu, 2000);

PRIAM, STEM, Değişen Hedef, AIM, VIG, Dışbükey Koniler

5.4.3.1 PRIAM

Yapay zeka anlayışına dayalı bir yöntemdir. Uygulama sırasında bir “Arama Ağacı” kurulur ve bu ağaç yardımıyla hedeflenen çözüme ulaşmaya çalışılır. Arama

ağacında KV' nin belirlediği istek düzeylerini temsil eden düğümler ve istek düzeylerinin değişmesi ile durumlar arası hareketi sağlayan işletimcilerden oluşur.

PRIAM yönteminde KV ilerleyen adımlarda istek düzeyini değiştirebilir ve yöntem bu gibi durumlara destek verir.

PRIAM yönteminin uygulanması sırasında karışık hesaplamalar ve varsayımların kullanılmasına gerek yoktur. KV'nin yapacağı ikili karşılaştırmalar ile ilerlenir ve istenen durumlarda geri dönülebilir.

5.4.3.2 STEM

PRIAM gibi adımsal olarak işleyen ve Adım Yöntemi diye de adlandırılan bu yöntem de yine KV ve KA arasındaki karşılıklı iletişim ile yürütülür.

STEM yöntemi basit işlemlerden oluşması ve belirli bir değer fonksiyonunu gerektirmemesi avantajlarına sahiptir. Fakat PRIAM gibi geri dönüşlü değildir. KV'nin herhangi bir noktada görüşünü değiştirmesi durumunda çalışmanın tekrar en baştan başlatılması gerekir. Dolayısıyla en baştan seviyelerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir ki, bu tüm uygulamalarda aynı kolaylıkta olmayabilir.

5.4.3.3 Değişen Hedef Yöntemi

Yöntem deneme yanılma yaklaşımı ile arama yapılmasına dayalıdır. Diğer yöntemlerde olduğu gibi karşılıklı iletişim içinde adımsal bir işleyiş ile yürütülür. Bir noktada KV'nin elde edilen sonuçla tatmin olması durumunda çalışma tamamlanır. Aksi takdirde her adımda KV'den kriterlerden biri için çözüm değerinde bir miktar taviz istenir. Uygulama STEM yöntemine çok benzer olup, temel fark her adımda alınan taviz nedeniyle normalizasyon hesabındadır. Olumlu ve olumsuz yönleri de STEM ile aynıdır denilebilir.

5.4.3.4 AIM

İstek tabanlı Etkileşimli Yöntem olarak isimlendirilen yöntemde KV'nin tercihleri tahmin edilir ve bu şekilde olumlu tercihler sıralanır. AIM yönteminin uygulaması kolaydır ve ayrıca STEM ve Değişken Hedef yöntemlerinde olmayan deneme yanılma ve geri dönüş imkanları bu yöntemde mevcuttur.

5.4.3.5 VIG

Çok amaçlı doğrusal programlama için geliştirilmiştir. Uygulamada her seçenek için bir karar değişkeni tanımlanır, daha sonra KV'den her ölçüt için bir istek düzeyi talep edilir ve istek düzeylerine göre kısıtlar belirlenir. Daha sonra doğrusal programlama modelinin çözümüne göre seçenekler iyi ve kötü diye ayrılır. Bu noktada KV çıkan sonuçtan memnun kalırsa uygulama tamamlanır, aksi durumda ise yeni istek düzeyleri ile tekrar hesaplama yapılır. Başta da anlatıldığı gibi, çok amaçlı doğrusal programlama problemleri için geliştirilmiş etkileşimli bir yöntemdir.

5.4.3.6 Dışbükey Koniler Yöntemi

Yöntemin temel özelliği, KV'nin kişisel yargılarını kullanarak, seçenekler kümesindeki zayıf seçenekleri elemeye yönelik çalışmasıdır. Tüm seçenekler bu şekilde sırasıyla en sonunda tek bir seçenek kalıncaya kadar elenirler. Dışbükey koniler yönteminde gerçek değer fonksiyonu tanımlanmadan diğer etkileşimli yöntemlere kıyasla daha az sayıda ikili karşılaştırma yapılarak KV'nin sonuca ulaşması sağlanır. Olumsuz yönü ise değer fonksiyonunun doğrusal olmaması nedeniyle KV'nin yanıtlarındaki bir tutarsızlık durumunda çözümün güvenilirliğinin düşük olmasıdır.

5.4.4 Diğer Yöntemler

Buraya kadar olan kısımda anlatılan yöntemler nisbeten karmaşık ve kapsamlı sorun çözüm yöntemleridir. Bu yöntemlerin dışında Çok Ölçütlü Karar Verme durumunda kullanılacak başka yöntemler de vardır. Bu yöntemler daha önce verilene kıyasla daha basit ve oldukça yaygın kullanımı olan yöntemlerdir ve bu nedenle Basit Sorun Çözüm Yöntemleri diye de adlandırılırlar (Topçu, 2000).

5.4.4.1 İkili Değiştirme Yöntemi

İkili değiştirme yönteminde ilk olarak seçeneklerin ölçütlere göre performans değerlerinin tanımlı olduğu karar matrisi üzerinde önemsiz ölçütler elenir. Bu elemanın yapılabilmesi için tüm seçeneklerin sözkonusu ölçüte göre aynı değerde olması gerekir. Daha sonra ise etkisi az seçenekler elenir. Bu ayıklama işlemi ile daha az seçenek ve ölçütle çalışılması ve bağlı olarak sistemin sadeleşmesi hedeflenir. Bu aşamadan sonra geriye kalanlar üzerinden ikili değişimler ile yeni seçimler yapılır.

İkili Değiştirme Yöntemi ikili karşılaştırmalara dayalı değişimler kullanılarak sonuçta giden, oldukça yalın ve uygulanması kolay bir yöntemdir. Ancak, seçeneklerin ve ölçütlerin sayısının artması ile işlemler artacağından uygulama zamanı oldukça uzayacaktır. Ayrıca ikili karşılaştırmalar sırasında KV'nin yargıları çok etkindir.

5.4.4.2 Ardışık Sırasal Yöntem

Yöntemin uygulanması sırasında öncelikle en önemli ölçütlere göre seçeneklerin sıralandırılması gerekir. En önemli ölçütte seçeneklerin performans değerlerinin aynı olması durumunda sıralama amacıyla ikinci önemli ölçüt kullanılır. Bu yöntem ile seçeneklerin tümünün sıralaması yapılır.

Kullanımı hayli basit olan yöntemde en iyi ölçüte göre iyi durumda olan bir seçenek diğer tüm ölçütlerde kötü bile olsa ilk sırayı alır ve bu durum yöntemin en ciddi sakıncasıdır.

5.4.4.3 Ardışık Yarı Sırasal Yöntem

Yöntemin genel işleyişi bir önceki başlık altında anlatılan Ardışık Sırasal Yöntem ile aynıdır. Farklı yanı ise bir seçeneğin diğerlerine üstünlük sağlayabilmesi için önemli bir performans farkı gerekliliğidir.

5.4.4.4 Özelliklerine Göre Eleme Yöntemi

Tüm ölçütler için eşik değerler belirlenerek performansları bu değerin altında kalan seçeneklerin elenmesi ile değerlendirme yapan bir yöntemdir. Sonuçta tek bir seçeneğe inilebileceği gibi bir seçenekler kümesi de önerilebilir. Herbir ölçüt için KV'den eşik değerler istendiğinden oldukça subjektif bir değerlendirme yöntemi olarak değereleendirilebilir.

5.4.4.5 İyimserlik ve Kötümserlik Yöntemleri

İyimserlik Yöntemi en iyi normalize edilmiş performans değerine sahip seçenekler içinden en iyi olanının seçilmesi hedefiyle çalışır. İyimserlik olayı seçimi sadece sayısal değerler üzerinden yapar kalitatif boyutu dikkate almaz.

Kötümserlik yönteminde ise en kötüler içindeki en iyi seçeneğin tesbiti hedeflenir, olumlu ve olumsuz yönleri iyimserlik yöntemi ile aynıdır.

5.4.5 Birleştiren ve Ayıran Yöntemler

KV'nin belirlediği ve her ölçüt için karşılanmasını istediği alt düzeylerin tümünü karşılayan seçenekleri kabul edilebilir, diğerlerini ise kabul edilmez şeklinde tanımlayarak seçenek kümesini ikiye bölen bir yaklaşımdır.

5.4.6 Bulanık Küme Teorisinden Yararlanan Yöntemler

Seçenekleri bulanık kesişimdeki üyelik derecelerine göre sıralama yöntemidir. Söz konusu yöntem grubu belirsizlik altında karar verme durumunda kullanılır.

5.4.7 Çok Değişkenli Analiz Yöntemleri

Çok değişkenli istatistik analizi ile istatistiksel terminolojide değişken olarak adlandırılan ölçütler arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Böylece karar seçenekleri kümesinin performanslarına ne gibi kısıtlamaların olduğu ve gelecekte nelerin başarılabileceğini anlamaya çalışılır.

5.4.8 Belirsizlik Altında Karar Verme Yöntemleri

KV'nin seçenekler arasındaki tercihlerini beklenen faydayı en büyükleyerek ederek modelleme. Şekil 5.1' de verildiği gibi.

5.5 Oluşturulacak Yeni Modelde Kullanılacak Yöntemin Belirlenmesi

Hata Türleri ve Etkileri Analizi Yöntemine yönelik olarak günümüze kadar yapılan çalışma ve geliştirmeler uygulama alanlarının çeşitlendirilmesi yönünde olmuştur. Otomotiv, Beyaz Eşya, Genel Makina İmalatı sektörlerinde gerçekleştirilen uygulamalarda yöntem, tasarım uygulamalarının yanı sıra, proses, bakım, sistem tasarımı alanlarında da kullanılır hale gelmiştir. Bu çerçevedeki başlıca çalışmalara Ford-Otosan ve Arçelik ile diğer otomotiv şirketleri ve bu şirketlerin yardımcı sanayilerindeki uygulamalar örnek gösterilebilir. Bu çalışmalar 1996 yılından itibaren Gümrük Birliği ile hızlanan ihracat hamlesi ile birlikte artan yurtdışı müşteriler ile beraberce yapılan projelerde uygulanan HTEA çalışanları ile uluslararası boyut kazanmıştır. Bu süreçte tüm çalışmalar, konuya hakim olduğu düşünülen grupların beyin fırtınası tekniğini de öncelikli olarak kullanarak yaptığı oturumlarda deneyimlerin ön plana çıktığı puanlamalar ve bu şekilde belirlenen önceliklendirmeler ile yürümüştür. Bu uygulamalarda, hiyerarşik veya önyargısız

olarak deneyim düzeyinin yüksek olduğu düşünölen kişilerin baskın olduğu durumlarda, önyargısal öncelikler gerçek öncelikleri bastırabilmektedir (Stamatis, 1995).

Bu noktada yaşanan sıkıntılar, çelişkiler ve endüstride yaşanan tecrübeler, klasik yöntemin önyargısal değerdendirmelerini ortadan kaldıracak matematiksel bir tabanda, çözüm önerilerini fayda-maliyet boyutundan ele alacak bir önceliklendirme veya karar mekanizması yönünde bir geliştirme ihtiyacı doğurmaktadır.

Geliştirilecek olan yeni modelin değışik eğitim ve bilgi düzeyinden insanların kullanım imkanını sağlayacak basitlik ve yalınlıkta olması da diğder önceliklere ilave olarak gelen önemli bir parametredir. Yeni modelden beklentileri özetledikten sonra sürecin diğder parametreleri de aşağıdaki ifadelerle tanımlanabilir.

Kurulacak modelde çeşitli etkiler, bu etkilerin ortaya çıkmasına sebep olan sebepler, etkilerin maliyetleri ve sebepleri önlemeye yönelik önlemler tanımlanmalıdır. Bunlara ilave olarak karar vermeye yönelik seçenekler, ölçütler ve tüm seçeneklerin tüm ölçütler için performans değderleri bilindiğinden kesinlik altında karar verme durumu söz konusudur.

Ayrıca, herbir hata sebebi için çözüm seçenekleri ve bunların önceliklendirilmesinde yararlanılacak ölçütler sınırlı sayıdadır (sürekli değildir) dolayısıyla kesikli bir durum söz konusudur ve aranacak modelin Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinden biri olarak belirlenmesi doğru olacaktır.

İlave olarak, çalışmanın çıkış noktasındaki en önemli önceliğın mevcut HTEA yöntemindeki karar verme adımıdaki puanlamadan kaynaklanabilecek subjektivitenin mümkün olduğunca azaltılması olduğu gözardı edilmemelidir, dolayısıyla saptanacak yöntemin karara destek yönünde olması yerine doğrudan çok kriterli karar verme yönünde olması tercih edilmelidir. Buna bağılı olarak KV ve KA arasında yoğun iletişim ve çözüm seviyeleri ihtiyacı duyulan etkileşimli yöntemlerin kullanılması da söz konusu sebepten ötürü pek tercih edilmez. Yine aynı paralelde düşünöldüğünde çok fazla subjektif eşikler gerektiren basit sorun çözüm yöntemlerinin kullanımı da düşünölmemiştir.

Yukarıda sebepleri verilerek anlatılan sınırlandırmalardan sonra geriye temel olarak Değder / Fayda Temelli yöntemlerle Üstünlüğe Dayalı yöntemler kalmaktadır ve

kurulacak yeni Karar Verme sistematığının bu iki yöntemin birinden yararlanması en uygun çözüm yolu olacaktır.

Aranan yöntemin, KV'den alınacak verilerin ve seviyelerin azaltılmasını sağlayarak en fazla derecede objektivite getirmesi hedeflendiğinden Değer ve Fayda Temelli yöntemlerin en temel aracı olan Basit Toplamlı Ağırlıklandırma (BTA)'nın hedeflediğimiz modele uyabileceği düşünülmüştür. Burada, belirli sayıda seçeneğe karşıt gelen belirli sayıda ölçütün performans değerleri hem nümerik bir skaladaki sayısal değerleri alabileceği gibi nisbeten kalitatif ölççeklerde, az / çok, üstün / üstün değil gibi 0-1 veya 1-2-3 skalasında değerlendirilerek veya belirli derecelendirmelerle çözüm matrisinde yer alabilirler. Daha sonra gelen hesaplamalarda KV veya KA'nın herhangi bir önyargısal etkisi olmaz ve ideal (tercih edilen) seçenek tamamen matematik hesaplamalar ile elde edilir.

Yeni oluşturulacak HTEA yönteminden beklenen, öngörülen maliyet çerçevesinde optimum çözümü önerme ve diğer çözüm önerilerinin de optimuma olan uzaklıkları hakkında fikir verme, BTA yöntemi ile bulunacak sonuçlarla kolaylıkla elde edilebilir. Ayrıca, uygulanacak yöntemin değişik eğitim ve deneyim seviyelerinden kullanıcıların kolaylıkla uygulayabilecekleri seviyede olması hedefi de söz konusu yöntemin basitliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle tamamen karşılanır.

Burada gözden kaçabilecek tek konu modelin tamamen sayısal hesaplamalara dayanması nedeniyle seçeneklerin performans değerlerinin getirdiği önemli farklardan kaynaklanan bazı durumlarda tercih edilen seçeneğin KV'nin asıl hedefinde olan öncelik olamayabileceğidir. Örnek vermek gerekirse; asıl hedefin çok hızlı ulaşım olduğu bir tercih durumunda, emniyet ve maliyet ölçütlerinin alabileceği performans ve ağırlık değerleri nedeniyle en yavaş fakat diğer ölçütler açısından çok iyi durumda olan bir başka seçenek ön plana çıkabilir. Bu durum KV'nin hedefinin tam tersi yönde bir çözümü önerdiğinden kabul edilmeyebilir.

Bu yöndeki sonuçları kontrol altında tutabilmek için karar verme yöntemini sadece BTA ile sınırlamayıp ilave bir yöntemle desteklemenin ve kısmen sağlamasını yapmanın faydalı olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla kullanılacak ikinci karar verme yönteminin seçeneklerin birbirlerine göre üstünlüklerini sorgulayan bir yöntem olması daha uygun olacaktır. Üstünlük yöntemlerinin en temel aracı olan ELECTRE bu amaca yönelik olarak kullanılabilir.

Özetlenecek olursa, yeni HTEA karar verme modelinde, her hata türü sebebi için bulunacak çözüm önerileri (seçenekler), belirli ölçütlere göre aldıkları performans değerleri dikkate alınarak BTA ile önceliklendirilecek ve ideal önlem seçilecektir. Daha sonra seçilen ideal önlemin ağırlığı en fazla olan ölçütteki performans değerine bakılarak diğer seçeneklere göre durumu incelenecektir. Eğer diğer seçeneklere göre performansı zayıfsa seçimin doğruluğu kuşku hale geleceğinden ELECTRE yönteminin uygulanması ve seçimin doğrulanması yapılmalıdır. Bu yaklaşımı bir örnekle açıklamak gerekirse, herhangi bir hata türü için dört farklı önlemin olduğu bir durumda ölçütler, maliyet, önleyicilik, verim ve üretimin devamı olabilir. Burada en çok önem verilen ölçütün önleyicilik olduğu ve buna bağlı olarak ağırlığının en yüksek olduğu durumda seçilen ideal önlemin öneyicilik ölçütündeki performansı diğer önlemlerin önleyicilik ölçütündeki performanslarına göre daha düşük olabilir. Böylece bir durumda bu seçeneğin ideal önlem olarak seçilmesi seçimin doğruluğunu kuşku hale getirir.

Seçimin doğruluğu konusunda kuşku duyulması gereken ikinci durum ise BTA ile yapılan değerlendirme sonucunda seçeneklerin aldıkları puanların birbirlerine çok yakın olması durumudur. Böyle bir durumda seçeneklerin tümünün BTA uygulaması sonrasında aldıkları değerler seçilen ideal önlemin puanına çok yakın olacaktır ve seçimin doğruluğu konusunda bir takım şüpheler kalabilecektir. Uygulama sırasında böylesi bir durumla karşılaşılması halinde yukarıda anlatıldığı şekilde seçimin ELECTRE ile doğrulanmasında fayda vardır. Bu noktada puanların birbirlerine olan yakınlığı ile ilgili eşikler belirlenmesi uygulamacılara yardımcı olacaktır. Çok fazla önlem seçeneği olması durumunda limit değer olarak seçeneklerin tümünün aldıkları puanların aritmetik ortalamasına standart sapmanın eklenmesi ve seçilen ideal önlemin puanının bu değerin üzerinde olması ideal seçeneğin diğerlerine göre oldukça kuvvetli olduğunu gösterir. Buna ilave olarak önlemlerin sayıca az olması durumunda (3-4 gibi) standard sapmanın hesaplanmasına gerek yoktur. Bu gibi durumlarda aritmetik ortalamadan %20 kadar büyük olmak limit değer olarak kabul edilebilir. Yukarıda anlatılan yaklaşımı bir örnekle açıklamak gerekirse, yine ilk örnekte ele alındığı gibi dört önlem seçeneği olan bir durum söz konusu olabilir. Bu hata türü için seçenekler arasında BTA ile bir değerlendirme yapıldığında seçeneklerin aldıkları puanlar sırasıyla; 0.26, 0.27, 0.23 ve 0.24 olabilir. Puanlar hesaplandıktan sonra normal yaklaşım gereği ikinci seçeneğin ideal önlem olarak

kabul edilmesi gerektiği açıktır. Ancak sonuçların tümü beraberce ele alındığında tüm seçeneklerin puanlarının birbirlerine oldukça yakın olduğu görülür. Bu gibi durumlarda ikinci seçeneğin ağırlığı fazla olan ölçütlerde birinci seçeneğe göre zayıf olduğu bile görülebilir. Oysa aynı seçenekler 0.20, 0.35, 0.25 ve 0.20 gibi puanlar aldığı takdirde ikinci seçenek 0.35 değeri ile 0.25 olan aritmetik ortalamadan %40 kadar yukarıda olacaktır ki bu da söz konusu seçeneğin diğerlerine göre oldukça baskın olduğuna işaret edecektir ve seçeneğin ELECTRE ile do rulanmasına gerek kalmayacaktır.

Sonuç olarak, belirli ölçütler ve bu ölçütlerin a ırlı larına göre  nlemleri BTA ile önceliklendirmek ve aralarından ideal önlemi seçmek hem tamamen matematik tabanlı bir yaklaşım olması hem de oldukça kolay uygulanabilir olması nedeniyle çalışmanın temel hedeflerinin kar ılayacaktır. Sadece bazı özel ve şüpheli durumlarda seçilen önlemin doğrulanması gerekebilir ve bu amaçla ELECTRE yönteminin kullanılması uygun olacaktır.

Söz konusu yaklaşım bir sonraki “Geliştirilen Yeni Model” bölümünde tekrar ele alınacak ve bir örnek uygulama ile daha kolay anlaşılması sağlanacaktır.

6. GELİŞTİRİLEN YENİ MODEL

Hatırlanacağı üzere dördüncü bölümde klasik HTEA yönteminin iyileştirmeye açık yönleri verilmişti ve bu konularda yeni bir yaklaşım getirilmesi hedeflendiği belirtilmişti. Bu kapsamda çalışmanın hedefi başlıklar halinde tekrar ele alınırsa;

- Hata türlerinin değerlendirilmesi ve üzerinde çalışılacak hata türü sebeplerinin belirlenmesi mümkün olduğunca objektif ve matematik tabanlı bir yöntemle yapılmalıdır.
- Yaklaşım hata türü sebeplerinin önceliklendirilmesi yerine çözüm önerilerinin önceliklendirilmesine ve ideal çözüm yönteminin belirlenmesine yönelik olmalıdır.
- Karar verme süreci katılımcıların deneyim seviyelerine duyarlılıktan mümkün olduğunca uzaklaştırılmalıdır.
- Yöntem mümkün olduğunca basit ve kolay uygulanabilir olmalıdır.

Bu amaçları karşılayacak yeni bir sistem yukarıdaki boyutlar dikkate alınarak tanımlanmıştır.

6.1 Önerilen Yaklaşım

6.1.1 Önerilen Teknik

HTEA yöntemine yeni bir yaklaşım getirilmeye çalışılırken yukarıda verilen olumsuzlukların ortadan kaldırılması ve beklentilerin karşılanması amaçlanmıştır. 5. bölümde verilen bilgiler doğrultusunda herhangi bir konuda matematiksel bir model çerçevesinde karar verebilmek için bir sorun, sorunun çözümü ile ulaşılması beklenen bir seviye yani amaç, çözüm yöntemleri yani seçenekler ve seçeneklerin birbirlerine göre kıyaslanmasını sağlayan kriterler ve ölçütler olması gerektiği

hatırlanmalıdır. HTEA yönteminin uygulanmasında temel çıkış noktası hatasız ürün veya hizmet sunmak olduğundan “*sorun*” sözkonusu hataların ortaya çıkması ile katlanılacak kayıplar ve maliyetler olarak belirlenebilir. Hedeflenen seviye, “*amaç*” ise bu kayıp ve maliyetlerin minimize edilmesi veya tamamen ortadan kaldırılması olmalıdır. Böyle bir modelde “*seçenekler*” çalışmanın sonunda amaçlandığı şekilde hata maliyetlerini en aza indirecek çözüm yöntemleri ve “*kriterler*” ise bu çözüm yöntemlerinin uygulanabilmesi için gereken maliyetler ve diğer parametreler olarak alınabilir. Bu amaçla yeni yöntemde uygulanan en önemli değişiklik, klasik yöntemde kullanılan HTEA tablosuna hata etkilerinin maliyetlerinin de eklenmesidir. Özetle, yapılan tüm çalışmaların ana hedefi kullanım veya uygulama sırasında ortaya çıkabilecek problemlerin en aza indirgenmesi veya ortadan kaldırılması olduğuna göre sonuçta ortaya çıkacak etkinin öneminden ve maliyetinden hareketle belirleme yapmanın daha mantıklı ve etkin olacağı açıktır. İlk başta, kolay gibi görünmese de, yaşanan geçmiş olaylardan edinilen tecrübelerle olası hataların kayıplarını hesaplamak, problemlerin şiddet, olasılık ve keşfedilebilirliklerini tahmin etmekten daha kolay ve bilimsel olacaktır. “*Costs can be used for prioritizing the failiures*” “Maliyetler hataların (hata sebeplerinin) önceliklendirilmesi için kullanılabilir” (Gilchrist, 1997). “*For hundereds of years, it has been generally agreed that the way to express severity has been in financial terms*” “Hata etkilerinin şiddetinin mali terimlerle ifade edilebilirliği üzerinde uzun yıllardan buyana uzlaşmıştır” (Signor, 2002). Hataların maliyetleri ile birlikte ele alınıp önceliklendirilmesi çalışmayı olsa olsa yaklaşımdan kurtarıp, gerçekçiliğe daha fazla yaklaştıracaktır. Bu konu bir örnekle daha açık hale getirilmeye çalışıldığında, 1986 yılında yaşanan Challenger kazası ele alınabilir. Hatırlanacağı üzere bu olayda ana yakıt tankının bölümleri arasındaki bir contanın işlevini yerine getirememesi nedeniyle kalkıştan sonra yakıt sızıntısı başlamış devamında sızan bu yakıtın alevlenmesi sonucunda patlama meydana gelmiş ve hem uzay taşıtı kaybedilmiş hem de bundan çok daha önemli olarak astronotların kaybı sözkonusu olmuştu. Olayın sonrasında medyada açıklandığı kadarıyla sözkonusu contanın problem çıkarabileceği önceden tahmin edilmiş ancak bunun olasılığı konusunda yaşanan görüş ayrılıkları nedeniyle herhangi bir iyileştirme yapılmadan mekik fırlatılmıştı. Bu konu klasik HTEA yaklaşımı ile ele alındığında hatanın olasılığı ve önceden keşfedilebilirliği üzerindeki ciddi görüş ayrılıkları nedeniyle iyileştirme yönünde çalışma yapılması gerekmediği noktasına gelinebilir. Oysa aynı hata türü tez kapsamında geliştirilen model

yardımla ele alındığında öncelikle hatanın oluşması durumundaki kayıp ve maliyetler tanımlanacak, ki bu çok hızlı bir uzlaşma ile ortaya konabilecek ve devamında yapılan çalışma ile bu hatanın nasıl giderilebileceği ve maliyetleri tanımlanabilecektir. Yukarıda anlatılanların ışığında yeni modeldeki aşağıdaki yeniliklerden sözedilebilir;

“Analize hata etkilerinin maliyetlerin de katılması ile yaklaşım eski yöntemle kıyasla daha **maliyet ve sonuç odaklı** hale gelmiştir”

“Analize tahminler yerine verilerin katılması yaklaşımı eski yöntemle kıyasla daha **veriye dayalı** hale getirmiştir”

İkinci önemli değişiklik hataları önlemeye yönelik faaliyetlerin de sisteme karar verme aşamasında kullanılacak şekilde dahil edilmesidir. Burada önlemeye yönelik faaliyetler herbir hata sebebi için tek olabileceği gibi birden fazla da olabilir. Daha sonra herbir önleme alternatifinin diğer alternatiflere göre avantaj ve dezavantajlarının var/yok veya kuvvetli/zayıf şeklinde çok basitçe karar verilebilecek kriterlerle desteklenmesinin seçimde kolaylık getireceği düşünülmüştür. Yeni modelde önleyici yönün ön plana çıkması modele “Hata Türleri Etki ve Önlem Analizi” şeklinde yeni bir isim vermenin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Buradan sonraki kısımlarda yeni model “HTEÖA”, eski klasik model ise “HTEA” kısaltmasıyla tanımlanacaktır. Böylelikle;

“Analize önleme alternatiflerinin katılması ile yaklaşım eski yöntemle kıyasla daha **önleyici** hale gelmiştir”

Bu kısım da tamamlandıktan sonra her hata türü için önleme sonrasında kabul edilebilir kalan hata maliyetleri tanımlanır. Burada özellikle yaşamsal risk (can güvenliği riski) taşıyan hata etkilerine karşılık gelen önleme sonrası maliyetlerin tahmin edilmesinin çok fazla önemi olmadığı ve bu tür risk taşıyan konuların mutlaka iyileştirilmesi gerekliliği kaçınılmazdır. Ek olarak, yaşamsal bir risk olmasa dahi ürünün fonksiyonunun tamamen engelleneceği ve kullanıcının ciddi problem yaşayabileceği temel hatalarda da kalan hata maliyetinin “0” olması tercih edilir. Ancak, düşük risklerde önleme sonrası belirli oranda bir hata kabul edilebilir. Bu, firmaların önleme maliyetlerini azaltabilmek için bir miktar risk almaları anlamına

gelir ki bu durum HTEÖA çalışmasında firmanın genel prensipleri çerçevesinde belirlenebilir.

Bu işlemlerin tamamlanması ile her hata türü için önlemler ve her önlemin avantaj ve dezavantajları ilişkilendirilerek ideal çözüm aranır. İlave edilen yenilikler ile HTEA Matrisi yeni bir yapı kazanarak HTEÖA Matrisi halini almıştır (Şekil 6.1).

HATA TÜRÜ ETKİ VE ÖNLEM ANALİZİ										
Hata Türü	Hatanın Etkisi	Etki Maliyeti	Sebep	Sebebin Olasılığı	EMxSO	Önlem 1	Önlem 2	Önlem 3	Önlem n	Sonuç Etki Maliyeti
Hata Türü 1	Etki 1	Maliyet 1	Sebep 1							Kalan Hata Maliyeti 1
			Ölçütler			Kriter 1				
						Kriter n				
Hata Türü 1	Etki n		Sebep n							
			Ölçütler			Kriter 1				
						Kriter n				
Hata Türü n	Etki 1	Maliyet n	Sebep 1							
			Ölçütler			Kriter 1				
						Kriter n				
Hata Türü n	Etki n		Sebep n							Kalan Hata Maliyeti n
			Ölçütler			Kriter 1				
						Kriter n				

Şekil 6.1 Hata Türü Etki ve Önlem Analizi Değerlendirme Tablosu

6.1.2. Önerilen Karar Verme Yöntemi

Karar verme aşamasında öncelikle her seçeneğin ölçütlere göre değerlendirilmesi yapılır. Bu noktada subjektif değerlendirmelerden olabildiğince uzaklaşmak için kalitatif ölçütlerde “var/yok” (1/0) veya “kuvvetli/zayıf” (2/1) tarzı ikili bir değerlendirme yapılması tavsiye edilir. Ancak, maliyet, ağırlık, hız gibi kantitatif

ölçütler doğrudan kullanılabilir. Aynı zamanda, kullanılan ölçütlerin birbirine göre önem derecesi çoğunlukla değişkendir, müşteri beklentileri, hedef pazarlar, rekabet şartları, rakipler ölçütlerin birbirine göre önemini belirler. Örneğin rekabete çok duyarlı bir üründe maliyet seçeneği, kalite seviyesine çok duyarlı bir üründe ise önleyicilik ön plana çıkabilir. Değerlendirmelerin tamamlanması ile seçenekleri, ölçütleri ve değerlendirme sonuçlarını içeren matrisler elde edilir. Bu matrisler kullanılarak her hata sebebi için ideal çözüm seçeneği aranır.

İdeal çözüm seçeneğinin aranması sırasında eldeki veriler ve çalışmanın ana hedefleri olan basit, kolay uygulanabilir ve objektif olma gerekleri dikkate alındığında Değer / Fayda Temelli Sorun Çözüm Yöntemlerinden Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yönteminin oldukça uygun olduğu görülür.

Bu yöntem, uygulanması kolay ve oldukça iyi sonuç veren bir yaklaşımdır. Ancak, karar verme sırasında, özellikle seçeneklerin sonuç puanlarının birbirine çok yakın olduğu durumlarda ana önceliğin gözden kaçırılması riski mevcuttur. Örneğin, önleyicilik ölçütünün çok ağırlıklı olduğu bir durumda, diğer ölçütlerin aldıkları değerlere göre başka bir ölçüt çok az bir puan farkıyla ön plana çıkabilir. Bu durum, sadece seçeneklerin aldıkları puanları dikkate alan bir sıralama ile karar verilen durumlarda asıl önceliğin gözden kaçırılmasına sebep olabilir.

Yukarıda verilen nedenlerden dolayı, Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ile verilen kararın başka bir yöntem ile desteklenmesinde fayda vardır. Bu noktada, “Değer / Fayda Temelli” bir yaklaşım yerine seçeneklerin birbirlerine göre üstünlüklerini dikkate alan bir yaklaşımın daha doğru olacağı açıktır. “Üstünlüğe Dayalı yaklaşımların” en temeli olan ELECTRE yöntemi, seçeneklerin birbirlerine göre iyi olma derecesinin belirli bir seviyenin üstünde olmasını ve bağlı olarak aksi yöndeki değer de belirli bir seviyenin üstünde olmamasını sorguladığından (Vince, 1992) seçeneklerin birbirlerine göre değerlendirmesi sonucunda Basit Toplamlı Ağırlık Yöntemindeki gözden kaçabilecek ilişki veya ilişkisizliklerin ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır.

Uygulamalarda, çoğu durumda her iki yöntemle yapılan değerlendirmelerin sonuçlarının örtüştüğü görülür. Ancak, yukarıda da söz edildiği gibi, puanların birbirine çok yakın olduğu durumlarda her iki yöntemle bulunan ideal seçenek veya

seçeneklerin ltlerin ağırlıkları da göz önünde bulunduğularak değerlendirilmesi gerekir.

Özetlersek, karar verme aşamasında uygulama kolaylığı nedeniyle Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yönteminin kullanılması ancak bununla beraber 5. bölümde verilen kriterler doğrultusunda gereken durumlarda ELECTRE Yöntemi ile sonuçların doğrulanması veya ilk yöntemde gözden kaçabilecek ilişkilerin yakalanması ve değerlendirilmesi tavsiye edilir.

6.2 Çalışma Grubu

Önerilen yeni yapıyı kullanarak çalışacak olan HTEA Grubu klasik yöntemle çalışan gruplara kıyasla bir miktar değişik özelliklere sahip katılımcılarla oluşturulmalıdır. Bu noktada temel husus klasik HTEA Yönteminde olduğu gibi tamamı problemlerin özellikleri üzerinde yorum yapabilecek bilgi ve deneyime sahip katılımcılar yerine hataların etkilerinin getireceği maliyetler ve czm nerileri yönünde yorum ve tesbit yapabilecek özellikteki kişilerin de çalışma gruplarına katılmalarıdır. Burada ilk düşünülmesi gereken dış hata maliyetleri konusunda yorum getirebilecek Pazarlama-Satış Birimlerinden katılımcıların çalışma gruplarına monte edilmesidir. Ayrıca Kalite veya Mali Birimlerden geçmiş somut verilere haiz katılımcıların gruplarda yer alması da son derece yararlıdır.

Önerilen, geleneksel optimum sayı olan 5-7 kişilik gruplarla bu çalışmaları gerçekleştirmektedir.

Grupların oluşturulması sırasında göz önünde tutulması gereken önemli bir parametre de katılımcıların kalitatif bilgi birikimi veya deneyime sahip olmalarının yanısıra geçmiş dönük kantitatif bilgiye sahip olmalarının da ck önemli olduğudur. Etkilerin getireceği i ve dış kalite maliyetlerini veriye dayalı olarak ngrebilmelidirler. Czm yönünde öneri getirebilmelidirler.

Gereken durumlarda czm nerileri konusunda grup yesi olmayan teknik personel oturuma davet edilerek czm nerileri konusunda danışmanlık alınabilir.

6.3 Gerekli Olan Veri Tabanı

Sürecin tahminlerden çok veriye dayalı hale getirilmesi işletmelerin veri tabanlarındaki bilgilerin kullanılmasını gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Bu nedenle, üretim hata raporları, kalite maliyeti bilgileri, müşteri şikayetleri, iç ve dış tamir ve düzeltme maliyetleri, ödenen tazminatlar, firma dışı örnek olaylar, kıyaslar v.b. bilgiler oturumlarda somut olarak gündeme getirilmeli ve kullanılmalıdır.

Bu bilgiler mutlaka tahmin yerine somut verilerle desteklenerek ortaya konmalı, pazarlama, kalite ve mali birimlerden katılımcılar bu verilere haiz olarak oturumlara katılmalıdırlar.

Önerilen yeni HTEÖA Yönteminde, yukarıda temel başlıklar altında verilen verilerin firmada kayıtlı olarak bulunması kritik önem taşır. Bu verilerin firmada bulunmaması durumunda uygulamada çoğu girdi HTEA Yönteminde olduğu gibi tahminlere dayalı hale gelir ki bu da uygulamanın çıktılarını şüpheli hale getirir. Özellikle hata etkilerinin yol açacağı maliyetler konusunda belirli ölçüde somut veri olmadığı durumlarda yöntemin uygulanması tavsiye edilmez.

6.4 Planlama

Önerilen yeni yöntemle yapılacak HTEÖA çalışmaları tahmin yerine veriye dayalı olacağından katılımcıları bir miktar ön hazırlık ile oturumlara katılmaları sürecin etkinliği açısından son derece önem kazanmıştır. Bu nedenle oturumun bir hafta öncesinden çalışma başkanı tarafından hazırlanan gündem, grubu oluşturmaya düşünülen üyelere gönderilmelidir. Yapılacak çağrıda aşağıdaki hususların ana başlıklarla belirtilmesi önerilir.

- Çalışma konusu
- Tüm çalışmanın tahmini süresi
- Her üyeden temel beklenti
- Üzerinde tartışılacak prototip veya parçalar
- Gerekli olabilecek veriler ve erişim yolları

6.5 Oturum Yeri

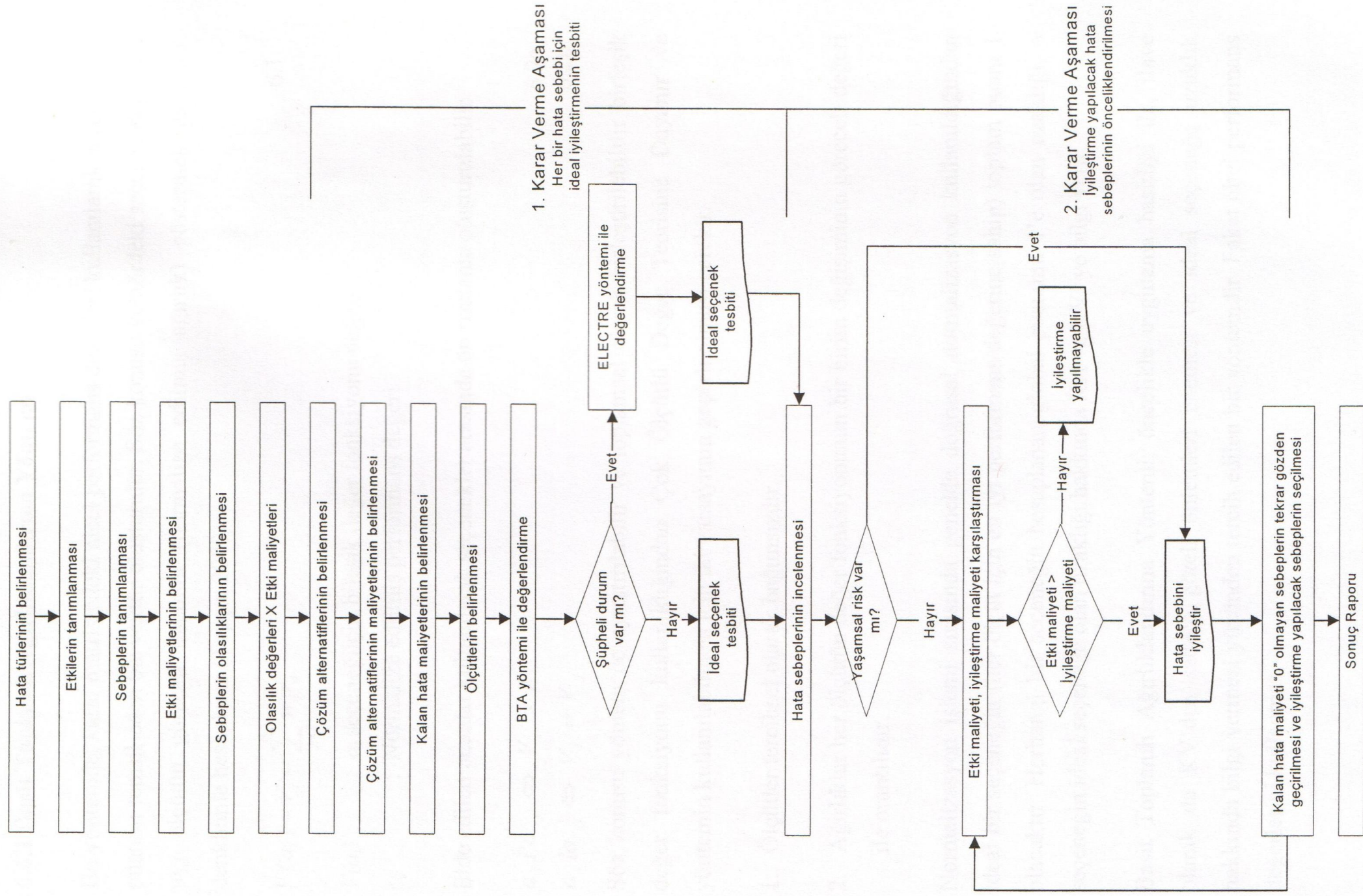
Değişik kaynaklarda, değişik sebeplerle yapılan grup çalışmalarının işin yapıldığı yere uzak olmasının konsantrasyon ve süreklilik açısından faydalı olduğu belirtilmekle beraber, önerdiğimiz yeni sistemатikte oturumların yerinin veriye yakınlığı son derece önem taşımaktadır. Dolayısıyla, oturumların mümkün olduğunca veriye ve işin yapıldığı yere yakın olmasında fayda olduğu düşünülmektedir. Tüm verilerin elektronik olarak saklandığı ve ulaşımın mümkün olduğu durumlarda bu şart dikkate alınmayabilir.

6.6 Modelin Uygulama Algoritması

Uygulama sırasında öncelikle klasik yöntemde olduğu gibi potansiyel hata türleri belirlenir. İkinci adımda, belirlenen bu hata türlerinin olası etkileri tanımlanır. Üçüncü adım, klasik yöntemden ayrılmanın başladığı noktadır. Bu adımda, tanımlanan etkilerin ortaya çıkması durumunda oluşacak iç ve dış maliyetler tahmin edilir.

Bu bölümün de tamamlanmasından sonra hata türlerinin sebepleri tanımlanır ki bu adım da klasik yöntem ile aynıdır. Hata türlerinin etkilerinden hareketle iki önceki adımda hesaplanan maliyetler dolaylı olarak sözkosusu hata türüne yol açan sebeplerin şiddet ve keşfedilebilirlikleri ile bağlantılıdır. Etkinin şiddetinin yüksek olması durumunda getireceği maliyet yükselecek ancak sebebin keşfedilebilirliğinin yüksek olması durumunda da kullanıcıya ulaşmadan berteraf edileceğinden düşecektir. Etki maliyetlerinin hesaplanması sırasında bu yaklaşımın göz önünde bulundurulması konusu 6.7.3. kısmında tekrar ele alınacaktır. Bununla beraber, nihai seçim aşamasındaki karar verme sırasında sebebin ortaya çıkma olasılığının ayrıca dikkate alınması gerekir. Bu nedenle her hata sebebi için grubun klasik yöntemde olduğu gibi olasılık tahmini yapması yerinde olacaktır. Bunu takiben her sebep için düşünülen olasılık puanı ilgili etki maliyeti ile çarpılarak ayrı bir kolon halinde çalışmaya dahil edilirler. Bir sonraki adımda önlemlerin (seçeneklerin) belirlenmesi sözkonusudur. Burada her bir hata türünü ortadan kaldırmak için uygulanabilecek çözüm alternatifleri çalışma grubu tarafından ortaya konur. Bir sonraki adımda bu önlemlerin uygulanması ile hata maliyetinin ne olacağı belirlenir.

Burada, doğal olarak öncelikli hedef hata maliyetinin “0” olmasıdır ancak bazı durumlarda bir miktar kalan hata maliyeti kabul edilebilir. Bu olasılık 7. bölümdeki uygulama kısmında daha detaylı olarak verilecektir. Dokuzuncu adımda ölçütler belirlenir. Bir sonraki adımda ölçütler ağırlıklandırılır. Daha sonra seçenekler ölçütler bazında değerlendirilir. Burada ilk değerlendirme yöntemi “Basit Toplamlı Ağırlıklandırma”dır. Ancak, şüpheli durumlarda (bu durumlar 5. bölümde etraflıca ele alınmıştır) “ELECTRE” ile ikinci bir değerlendirme yapılması tavsiye edilir. Böylece değerlendirme matrisi, bir tarafında hata türleri ve olası maliyetleri, diğer tarafında ise her hata türü için ideal çözüm seçeneği ve maliyetinin olduğu bir durum kazanır. Onikinci adımda, yine grup tarafından hangi hata türlerinin iyileştirilmesi gerektiğine maliyetler ve yaşamsal risk değerlendirmesi ile karar verilir. Bu aşamada yaşamsal riskler dışındaki hallerde öncelik çözüm alternatifinin maliyetinin hatanın ortaya çıkması halinde karşılaşılabilecek maliyetle karşılaştırılması ile belirlenir. Ancak hatırlanacağı üzere bazı çözüm alternatifleri için bir miktar kalan hata maliyeti olabileceği belirtilmiştir. Bu durum çözüm alternatiflerinin maliyetini de düşürebileceğinden nihai karar verme sürecinde aynı hata etkisi için kalan hata maliyetini “0” yapacak çözüm alternatifinin maliyeti belirlenip tekrar değerlendirme yapılması tavsiye edilir. Son adımda, çalışma, sonuç raporu ile bitirilir. Uygulama algoritması Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2 HTEOA Yöntemi Uygulama Algoritması

6.6.1 Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemi

Bu yöntemde, karar matrisindeki nicel performans değerleri kullanılarak seçeneklerin puanını temsil eden bir vektör oluşturulur. Söz konusu vektördeki seçenek değerleri; w_{ij} ölçütün göreceli önemini (normalize edilmiş ağırlık) göstermek aşağıdaki denklemlerle hesaplanır (Topçu, 2000).

$$V(a_i) = V_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad 6.1$$

$V(a_i)$: a_i seçeneği için bileşik değer fonksiyonu değeri

r_{ij} : Normalize edilmiş performans değeri

Elde edilen puanlar kullanılarak seçenekler arasında ön sıralama oluşturulabilir.

$$a_i P a_j \Leftrightarrow V_i > V_j \quad 6.2a$$

$$a_i I a_j \Leftrightarrow V_i = V_j \quad 6.2b$$

Söz konusu yöntem de ayrıştırılabilir ve toplamsal olarak birleştirilebilir birleşik değer fonksiyonu kullanıldığından Çok Ölçütlü Değer Teorisine Dayanır ve yöntemin kullanılabilmesi için iki varsayımın geçerli olması gerekir.

1. Ölçütler tercihsel olarak bağımsızdır.

2. Ağırlıklar her ölçütün değer fonksiyonunun bir birim değişiminin göreceli değeri ile orantılıdır.

Normalizasyon işlemi sırasında genelde doğrusal normalizasyon kullanıldığından ideal bir seçeneğin (her ölçüt için en iyi performans değerine sahip) toplam puanı 1 olacaktır. Herhangi bir seçeneğin hesaplanan global puanının 1'e olan uzaklığı, o seçeneğin ideal seçeneğe olan uzaklığı hakkında KA ve KV'ye bilgi verir.

Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemi; öncelikle uygulama basitliği ile, ilave olarak da KV'den sadece göreceli önlemleri istemesi ve ideal seçeneğe uzaklık hakkında bilgi vermesi yüzünden tercih edilen bir yöntemdir. Fakat nitel performans değerlerini kullanmaz.

6.6.2 ELECTRE Yöntemi

ELECTRE yönteminin uygulamasında iki temel adım söz konusudur (Topçu, 2000).

1. Seçeneklerin ikili karşılaşturmaları sonucunda uyum ve uyumsuzluk göstergelerinin hesaplanması. Uyum ve Uyumsuzluk Eşiklerinin belirlenmesi
2. Seçenekler arasındaki üstünlük ilişkilerinin kullanılması ile uygun seçeneklerin KV'ye sunulması.

Seçeneklerin birbirlerine göre uyumluluk göstergesini hesaplamak için, w_k ölçütünün ağırlığını ve W tüm ölçütlerin ağırlığını göstermek üzere, a_i seçeneğinin a_j seçeneğinden daha iyi veya aynı performans değerine sahip olduğu ölçütlerin ağırlık toplamı tüm ölçütlerin ağırlık toplamına bölünür.

$$a_i S a_j \Leftrightarrow \begin{cases} c(a_i, a_j) \geq \hat{c} \\ d(a_i, a_j) \leq \hat{d} \end{cases} \quad 6.3$$

S : Olurlu çözümler kümesi
 $c(a_i, a_j)$: Uyumluk göstergesi
 $d(a_i, a_j)$: Uyumsuzluk göstergesi
 $\hat{c}$: Uyum eşiği
 $\hat{d}$: Uyumsuzluk eşiği

Uyumsuzluk göstergesi, a_i seçeneğinin a_j seçeneğinden üstün olmasının karşısındaki görüşleri temsil ettiğinden, a_j seçeneğinin en az bir ölçüte göre a_i seçeneğinden daha iyi bir performans değerine sahip olması durumunda sıfırdan farklı bir değer alır.

$$d(a_i, a_j) = \begin{cases} 0 & \Leftrightarrow x_{ik} \geq x_{jk}, \forall k \\ (maks_k(r_{jk} - r_{ik})) / \delta \end{cases} \quad 6.4$$

Bu durumda, a_j seçeneğinin daha iyi olduğu ölçütlere göre iki seçeneğin normalize performans değerleri arasındaki en büyük farka (δ) bölünmesi ile hesaplanır.

Daha sonra belirlenen Uyumluluk Eşiği ($\hat{c}$) ve Uyumsuzluk Eşiği ($\hat{d}$) kullanılarak seçeneklerin birbirlerine göre uyum uyumsuzlukları aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$a_i S a_j \Leftrightarrow \begin{cases} c(a_i, a_j) \geq \hat{c} \\ d(a_i, a_j) \leq \hat{d} \end{cases}$$

6.5a



$$a_i S a_j \Leftrightarrow \begin{cases} c(a_i, a_j) \geq \hat{c} \\ (x_{ik}, x_{jk}) \notin D_k, \forall k \end{cases}$$

6.5b

D_k : k . Ölçüt için alt küme

Uyum ve uyumsuzluk matrislerinin kesişiminden hareketle seçenek çiftleri arasındaki üstünlüklere dayanan bir çizge çizilir, çizgedeki okların çıkış veya giriş noktaları düğüm adını alır ve ideal seçeneğin seçilmesinde yol gösterirler. Bu noktada çizgenin çekirdeğindeki seçenekler birden fazla olabilir. Bu gibi durumlarda bu seçenekler tercih edilen seçenekler olarak KV'ye sunulur ancak bunların arasında bir sıralama oluşturulmaz.

ELECTRE yönteminin bu zayıf yönünü gidermek için ELECTRE II geliştirilmiş olup ELECTRE II de tercih edilen seçeneklerin arasında bir sıralama da yapılır ancak eşiklerin iki kez belirlenmesi gereklidir.

ELECTRE III yönteminde ise kayıtsızlık ve tercih eşiklerinin kullanılması ile birden fazla tercih edilen seçenek arasında sıralama yapma söz konusudur ancak KV'nin belirlenmesi gereken teknik parametre sayısı daha da artmıştır.

ELECTRE IV'de ise ölçütlerin ağırlıklandırılmasına gerek yoktur ancak KV tarafından tanımlanması gereken çok sayıda parametre yine söz konusudur.

ELECTRE yöntemi, üstünlüğe dayalı karar verme yöntemlerinin ilk geliştirilenidir. Uygulama kolaylığı dolayısıyla günümüzde çok yaygın bir kullanım kazanmıştır. Seçenekler arasında üstünlük ilişkilerinin kurulması nedeniyle diğer üstünlük yöntemlerinde olduğu gibi değer fonksiyonu aranmaz.

Olumsuz olarak değerlendirilebilecek yanı ise, özellikle tek bir seçenek arandığı fakat buna karşılık birden fazla tercih edilen seçenek elde edildiği durumlarda net bir sonuç vermemesidir. Ancak böyle durumlarda da eşik değerlerinde yapılacak değişiklikler ile sonuçların değişmesi KV'ye bir fikir verebilir.

6.7 Geliştirilen Yöntemin Alt Başlıklar Bazındaki Detaylı Tarifi

6.7.1 Hata Türlerinin Belirlenmesi

Çalışma, ürünün kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek hata türlerinin tahmin edilmesi ile başlatılır. Belirlenen “Hata Türleri” tablonun 1. sütununda sıralanır. Bu problemler ürünün bütününden veya üzerindeki değişik bileşenlerden kaynaklanabilir. Bu durum etkinin/problemin sebepleri ortaya konurken açıklığa kavuşturulur. Hata türlerinin tesbiti çalışmanın bundan sonraki evrelerinin etkinliği ve sonuçtaki verimi açısından en önemli kademe olduğundan bu kısmın tüm ekip üyelerinin aktif katılımı ile yoğun bir dikkat ve katkı ile geçilmesi gerekir.

6.7.2 Hata Türlerinin Olası Etkilerinin Belirlenmesi

Tablonun ikinci sütununda hata türlerinin olası etkileri verilir. Her hata türünün bir tek etkisi olabileceği gibi etkiler birden fazla da olabilir. Burada, bir önceki adımda tahmin edilen hataların ortaya çıkması durumunda, ürünün performansı, ürünün kullanıcısı veya etkisi altına giren diğer kişi ve varlıklar üzerinde nasıl bir etki oluşturabileceği ortaya konur.

6.7.3 Etkilerin Maliyetlerinin Belirlenmesi

Üçüncü adımda etkilerin maliyetlerinin belirlenmesi yapılır. Bu adım çalışmanın en önemli adımıdır ve daha önce sözedildiği gibi somut verilere dayanması gerekir. Burada maliyet belirli bir para birimi cinsinden herbir olay başına hesaplanacağı gibi belirli bir dönemde katlanılacak maliyet de olabilir.

Maliyetlerin tahmin edilmesi sırasında Kalite Maliyetleri hesaplamasında kullanılan genel sınıflandırmaya çerçevesinde hareket etmek uygun olacaktır. Maliyetler, katlanılması gereken işletme içi maliyetler olabileceği gibi, ürünün kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek dış maliyetler de olabilir. Bu kapsamda dikkate alınması gereken önemli bir konu da etkinin, ürünün kullanıcısı veya etkisi altına giren insanlar, diğer canlılar ve çevre üzerinde yaratabileceği maddi maliyetlerin ötesindeki olumsuz etkilerdir. Olası bir etkinin bu sayılanların güvenliğini tehdit etmesi durumunda maliyet parametresi salt parasal maliyetin ötesinde önem ve öncelik kazanır. Yukarıda söylenenlerin ışığı altında maliyetlerin tahmin edilmesinde aşağıdaki kriterlerin dikkate alınması tavsiye edilir.

- Daha önce yaşanan benzer olaylarda ödenen tazminatlar, cezalar,
- Prestij kaybından dolayı yaşanabilecek pazar kayıpları,
- Ürün değiştirme maliyetleri,
- Ürünün kullanım yerindeki tamir maliyetleri,
- Firma içi tamir maliyetleri,
- Ürünün geç tesliminden kaynaklanabilecek tazminatlar,
- Revize edilen ürünler için gereken yeniden test ve kontrol maliyetleri,
- Iskarta maliyetleri,

Etki maliyetlerinin belirlenmesi sırasında etkinin şiddeti ve sebebin keşfedilebilirliği göz önünde bulundurulmalıdır. Doğaldır ki etkisi yüksek olan bir durumda hatanın ortaya çıkması daha yıkıcı ve yüksek maliyetli olacaktır. Ayrıca sebebin keşfedilebilirliğinin yüksek olması durumunda da sözkonusu hatanın kullanıcıda ortaya çıkma olasılığı azalacağından maliyetin düşük olması beklenmelidir. Grup etki maliyetlerini belirlerken bu durumları göz önünde bulundurmalıdır. Dolayısıyla akış sırasında etki maliyeti belirleme adımının sebeplerin belirlenmesinden sonraya bırakılması tavsiye edilir.

6.7.4 Hata Türlerinin Sebeplerinin Belirlenmesi

Etkilerin belirlenmesi tamamlandıktan sonra herbir hata türünün olası sebepleri tablonun üçüncü sütununda belirtilir. Her bir etkinin tek bir sebebi olabileceği gibi, sebepler birden fazla da olabilir.

Sebeplerin tanımlanması sırasında, grup üyelerini mümkün olduğunca fazla katılımcı kılmalı ve beyin fırtınası tekniğini uygulayarak mümkün olduğunca çok sebep ortaya konmalıdır.

Sebeplerin tanımlanması klasik HTEA tekniğinde olduğu gibi, katılımcıların düşüncelerinin grup üyelerince tartışılması ve görüş birliğine varmaları ile tamamlanır.

6.7.5 Sebeplerin Olasılıklarının Belirlenmesi

Etkilerin kesin maliyetlerinin belirlenmesi sırasında her bir sebebin ortaya çıkma olasılığı önem kazanmaktadır. Ortaya çıkma olasılığı nesibeten düşük olan bir sebebin sonuçta kümülatif anlamda getireceği maliyet olasılığı daha yüksek bir sebebe göre daha düşük olacaktır. Çalışma grubu her bir hata sebebi için olasılık durumunu klasik yöntemde olduğu şekilde 1 den 10'a kadar puanlayarak tabloya bir koln halinde ilave etmelidir.

6.7.6 Maliyetlerin Olasılıklarla Çarpımı ile Etki Maliyetlerinin Belirlenmesi

Daha sonraki adımda önceden belirlenen maliyetler sebeplerin olasılıkları ile çarpılarak etkinin olası maliyeti hesaplanabilir. Bu durumda aynı hata türüne yol açabilecek her bir sebep için ortaya çıkan maliyet birbirinden farklı olabilecektir.

6.7.7 Önlemlerin (Seçeneklerin) Belirlenmesi

Yedinci adımda hataların sebeplerini ortadan kaldırmaya yönelik önlemler belirlenir. Burada yine geçmiş dönem verileri büyük önem taşır. Önlemler çoğu durumda birden fazla olacaktır. Önlemler belirlenirken aşağıda belirtilen konuların dikkate alınması tavsiye edilir.

- Tasarımın iyileştirilmesi,
- Proses parametrelerinin değiştirilmesi ile prosesin güvenilirliğinin artırılması,
- Yeni ekipman yatırımı ile üretim yönteminin iyileştirilmesi,
- Mevcut ekipmanın modernizasyonu ile prosesin kontrol altına alınması,
- Ölçme ekipmanı yatırımı ile ölçüm güvenilirliğinin artırılması,
- Ölçme frekanslarının artırılması ile ölçüm güvenilirliğinin artırılması,
- Kullanılan mazemelerde değişiklik,

Önlemler, karar verme sırasında oluşturulacak matrislerde “Seçenekler” tanımlaması ile temsil edilirler.

6.7.8 Önlemlerin Uygulanması Sonrasında Kalan Hata Maliyetinin Belirlenmesi

Bu faaliyet asıl olarak 7.5 bölümünde anlatılan önlemlerin belirlenmesi çalışmasının ayrılmaz bir parçası olup beraber düşünülmelidir. Bu adımda, belirlenen önlemlerin uygulanması sonrasında kalabileceği düşünülen hata maliyetleri tahmin edilir. Doğaldır ki, yaşamsal risk taşıyan hata türleri için kalan maliyetin düşünülmesi doğru olmayacaktır. Ancak yaşamsal risk taşımayan durumlarda önlemlerin maliyetlerini azaltmak için daha sonra karşılanabilecek bir miktarda kalan hata maliyetin bırakılması düşünülebilir. Burada dikkate alınması gereken diğer önemli konular ise, ürünün kullanım yeri, hedeflenen pazarların kalite beklentileri, şikayet durumunda karşılaşılabilecek düzeltme maliyetleri ve ürüne ulaşılabilirliktir.

Örneğin; ev tipi çamaşır makinasında ses seviyesinde rakiplerin ortalaması 50 dBA iken basit tasarımlı, üretim maliyetleri düşük dolayısıyla kar marjı diğer modellerden %5 yüksek fakat 55 dBA ses seviyesinde bir modelle pazara çıkılabilir. Bu noktada, makinaların %0.1 inin müşteri şikayeti nedeniyle geri alınacağı veya bir üst modelle değiştirileceği kabulü ile hareket edilerek bir miktar kalite maliyeti riski alınabilir. Sonuçta ürün ömrü boyunca elde edilen kar marjının diğer modellerin kar marjı ortalamasından yüksek olması beklenir, veya, proses üzerine yapılan bir HTEÖA çalışmasında, önlem maliyetini düşürmek için %100 ölçme gereken bir noktada %10 örnekleme ile ölçüm yapıp bir miktar dış başarısızlık maliyeti riski alınabilir.

Çalışma sırasında kalan hatanın doğru belirlenmesi kritik önem taşır. Kalan hatanın yüksek oranda bir yakınlıkla belirlenemeyeceği düşünüldüğünde risk alınması önerilmez. Ayrıca, kalan hatanın, maliyet boyutunun yanısıra, firma imajının ve müşteri bağlılığının da zarar göreceği akıldan çıkarılmamalıdır.

6.7.9 Ölçütlerin Belirlenmesi

Hataların ortadan kaldırılmasına yönelik olarak uygulanacak önlemlerin herbiri kritik ve önemlidir. Ancak belirlenen önlemlerin sağlayacakları getiriye karşılık katlanılması gereken bazı kayıpları olacağı da açıktır. Bu olumsuzlukların sağlıklı ve eksiksiz olarak ortaya çıkarılması çözüm önerilerinin kendi aralarında önceliklendirilmesi açısından büyük önem taşır. Önlemlerin getirilerinin ve götürülerinin tanımlanması da daha önceki tanımlamalar gibi mümkün olduğunca somut veriye dayandırılmalıdır. Önlemleri kendi aralarında önceliklendirebilmek için

tanımlanan parametreler “Seçim Kriterleri” diye adlandırılır. Seçim Kriterlerinin tesbitinde aşağıdaki konuların dikkate alınması tavsiye edilir. Seçim Kriterleri, karar verme sırasında oluşturulan matrislerde “Ölçütler” ifadesi ile adlandırılır. Seçim Kriterlerine yönelik bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

- **Maliyet;** Söz konusu önlemin uygulanması için gereken harcama
- **Önleyicilik;** Söz konusu önlemin, hata sebebini ortadan kaldıracaklık derecesi
- **Üretim Verimi;** Önlemin uygulanmasının üretim verimliliğine etkisi
- **Sürdürülebilirlik;** Önlemin uygulanmasının üretimin sürdürülebilirliğine etkisi. Örneğin kritik bir ölçüde tolerans içine girilememesi durumunu ortadan kaldırmak için son derece ileri teknolojiye sahip makina yatırımı yapılabilir, ancak söz konusu makinanın arıza sıklığı veya servis alınmama durumu üretimin sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyebilir. Böyle bir durumun söz konusu olması, çalışmanın sonucunu çıkış noktasından çok uzaklaştırabilir.
- **Kolay uygulanabilirlik;** Önlemin ürün veya proses üzerinde uygulanabilirlik seviyesi

Yukarıda bahsedilen kriterler yol gösterici olması açısından örnek olarak verilmiştir. Değişik alanlardaki uygulamalarda kriterler çeşitlendirilebilir.

6.7.10 Ölçütlerin Ağırlıklandırılması

Çalışmanın bu adımıda Ölçütler (Seçim Kriterleri) birbirlerine göre ağırlıklandırılır. Ağırlıklandırma, çalışmada gerek şart olmamakla beraber uygulanmasında fayda ve sonuç kararının tutarlılığı açısından yararı olacak olan bir yaklaşımdır.

6.7.7 bölümünde tanımlanan Seçim Kriterleri, ürün, uygulama yeri, hatanın etkisi, ürüne olan talep v.b. özellikler dikkate alınarak ağırlıklandırılır. Örnek vermek gerekirse, hatanın yaşamsal etkisi olması durumunda önleyicilik kriterinin diğerlerine göre daha fazla önem kazanacağı açıktır. Buna karşılık, yoğun rekabet dolayısıyla kar marjının düşük olduğu bir üründe, yaşamsal boyut taşımayan bir hata için

önlemin maliyeti daha ön plana çıkar. Bunların yanı sıra, piyasa talebinin çok yüksek buna karşılık arzın düşük olduğu durumlarda üretim verimi veya üretimin sürdürülebilirliği kriterleri önem kazanır. Pazarın çıkış süresinin öncelikli olduğu durumlarda ise önlemin uygulama kolaylığı diğer kriterlere kıyasla daha baskın hale gelebilir.

Ağırlıklandırma, kriterlerin grup tarafından belirli yüzdelere değerlendirilmesi ile yapılır. Değerlendirmenin sonunda tüm kriterlerin ağırlıklarının toplamı 100 üzerinden 100 puanı sağlamalıdır. Kriterlerin ağırlıklandırılması yukarıda anlatılan prensip çerçevesinde yapılmakla beraber, puanların tümünün toplamı 1 olacak şekilde ağırlıklandırmasının hesaplama kolaylığı getireceği açıktır.

6.7.11 Önlemlerin Ölçütler Bazında Değerlendirilmesi

Buraya kadar yapılan çalışmalar tamamlandıktan sonra, önlemlerin herbiri sırasıyla belirlenen kriterler çerçevesinde değerlendirilir. Burada ilk kriter genellikle maliyet olduğundan değerlendirme sırasında maliyet değeri doğrudan ilgili önlemin altında belirtilir. Daha sonra gelen kriterler ise az/çok, var/yok, yüksek/düşük gibi 1-2 değerlendirme tabanında değerlendirilecek şekilde belirlenerek ilgili önlemin altında belirtilir. Böylelikle her hata türü için önlemlerin kriterler bazında değerlendirilmesi tamamlanır. Özetle, kantitatif kriterlerde değerin kendisinin, kalitatif kriterlerde ise 0/1 veya 1/2 değerlendirmesinin kullanılması önerilir. Yapılan bu faaliyet ile çalışma sırasında grup tarafından yapılan kabuller tamamlanmış olur. Bu kısmın tamamlanması ile HTEÖA matrisi son şeklini alır (Tablo A1).

Bu kısımdan sonra yapılacak çalışma hesaplama dayalı olarak önlemlerin önceliklendirilmesi, yani her hata türü sebebi için ideal çözüm seçeneğinin tespiti olacaktır. Önceliklendirme grubun tüm katılımcıları tarafından müştereken oturumla yapılabileceği gibi grubun görevlendireceği bir üye tarafından da kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Tamamen hesaplama dayalı olduğundan topyekün karar verme gerekli değildir.

6.7.12 Önlemlerin Önceliklendirilmesi ve İdeal Önlemin Saptanması

Çalışmanın bu adımı da herbir hata sebebini önlemeye yönelik olarak belirlenen önlemler seçim kriterleri doğrultusunda ideal çözümü sunacak şekilde

önceliklendirilirler. Bu adımda 6.1.2 bölümünde anlatıldığı şekliyle Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ve Electre Yöntemleri eş zamanlı olarak kullanılır.

Önceliklendirme çalışması tamamlandığında her hata türü için hangi önlemin en avantajlı olduğu ortaya konmuş olur.

6.8 İyileştirme Yapılacak Hata Türlerinin Belirlenmesi

Tüm hata sebeplerinin önceliklendirmesi tamamlandıktan sonra iyileştirme yapılacak hata sebepleri ve buna bağlı olarak hata türlerinin belirlenmesi faaliyetine geçilir. Bu faaliyet sırasında her hata türü için sebebinin bir veya birden fazla olması önem kazanır. Sebebin tek olması durumunda yapılacak herhangi bir ilave faaliyet olmamakla beraber, hata türünün ortaya çıkmasına yol açabilecek birden fazla sebep olması durumunda bu sebeplerin herbirinin ayrı ayrı ele alınması ve çözüm aranması gerekir. Ayrıca sebepler arasındaki etkileşim de sorgulanmalıdır. Başka bir deyişle sebeplerden birinin ortadan kaldırılmasının diğer sebepleri ne derecede etkilediği de dikkate alınması gereken önemli bir kriterdir. Sebepler arasındaki etkileşim ortaya çıkarılmak için kullanılacak ilişki analizleri mevcuttur. Ancak bu tür analizlerin yapılabilmesi için elde istatistiki veri bulunması gerekir. Bu tür istatistiki veriler ise ancak deney tasarımları ile toplanabilir. Burada olası hata sebepleri belirli seviyelerde, bilinçli ve yapay olarak oluşturularak sonuç üzerindeki etkileri uygulamalı olarak bulunur. Ancak çoğu durumda bu tarz deneysel çalışmaların potansiyel bir ürün veya hizmet üzerinde uygulanması mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda çalışama yapan gruptaki üyelerin tecrübeleri doğrultusunda etkileşimler belirlenmeye çalışılır. Örneğin; Çamaşır makinası potansiyel ses probleminin, motor dizaynı yetersizliği, yıkama elemanları dizayn yetersizliği veya izolasyon yetersizliği şeklinde değişik potansiyel sebepleri olabilir. Burada sebeplerin birbirleri ile etkileşimi düşünülürken, sebeplerden birinin ortadan kaldırılmasının diğerleri üzerindeki etkisi anlamında sorgulama yapıldığı takdirde, izolasyonun iyileştirilmesinin diğer sebeplerin ortadan kaldırılması gerekliliğini azaltacağı açıktır.

İyileştirme alternatifleri arasındaki etkileşimleri görebilmek için oluşturulacak bir etkileşim inceleme matrisi kullanılabilir. Bu amaçla tüm hata sebepleri için iyileştirme alternatifleri ve bunların maliyetleri ile kalan hata maliyetlerinin bir arada görülebileceği bir matris oluşturulur. Bu matris üzerinden katılımcıların kişisel tecrübeleri ile herhangi bir iyileştirme alternatifinin diğer hata sebepleri üzerine

olumlu bir etkisi olup olmadığı irdelenir. Eger bu yönde bir ilişki olduğu üzerinde fikir birliği olursa, toplam iyileştirme maliyetini optimize edecek alternatifler tercih edilir. Bu uygulamaya yönelik örnek, uygulama kısmında verilecektir.

Yukarıda bahsedilen kriterler çerçevesinde tüm hata türlerinin çözüm maliyetleri, önleyici faaliyet sonrasında kalan hata maliyetleri ile karşılaştırılarak, optimum bir maliyete yönelik çözüm önerisi veya önerileri belirlenir.

Belirleme sırasında yaşamsal risk taşıyan konularda kalan hata maliyetinin belirli bir kabul seviyesinde bırakılması, daha önce de bahsedildiği şekilde uygun olmayacaktır. Bu gibi durumlarda sözkonusu hata türünün tüm sebeplerinin tek tek ele alınarak, birbirleri ile olan etkileşimleri de göz önünde bulundurulup “0” hata olacak şekilde iyileştirilmesi beklenir.

Yaşamsal risk taşımayan hata türlerinde ise kalan hata maliyetleri ve önleme maliyetleri klasik kalite maliyetleri yaklaşımındaki dış ve iç maliyet başlıkları karşılığında düşünülebilir. Burada iç maliyetlerle dış maliyetlerin karşılaştırılması sonrasında firma yetkililerinin kararına göre hangi konularda iyileştirme yapılacağı belirlenir.

Yukarıda anlatılanlar bir sistematik haline getirilecek olursa, üzerinde iyileştirme yapılması gerekecek hata türlerinin belirlenmesi sırasında üç temel kriter gözönünde bulundurulmalıdır;

- Yaşamsal risk taşıyan (can güvenliği riski olan) tüm hata türlerine ait tüm hata sebepleri ideal çözüm seçenekleri saptanarak iyileştirilmelidir.
- Yaşamsal risk taşımayan hata türlerinin herbiri tek tek ele alınarak tüm sebepler için ideal seçenekler belirlenmeli tüm çözüm maliyetlerinin toplamı hata maliyetinin altında ise bu hata türleri iyileştirme için ele alınmalıdır. Bu noktada bir miktar hatalı türünün müşterilere ulaşacağı ve bunun neticesinde bazı müşteri şikayetleri alınacağı açıktır. Bu firmanın alacağı bir risk olarak kabul edilmelidir. Bunun yanı sıra böyle bir durumda yaşanacak şikayetlerden ötürü gelecek maliyetlerin yanı sıra, pazarda firma imajının zedelenmesi de göz önünde bulundurulmalıdır.

- Üçüncü bir alternatif olarak bütün hata sebeplerini tamamen ortadan kaldırılmak istenebilir. Bu durumda uygulamacılar tüm konulara odaklanarak tümünü çözüme ulaştırmak durumundadır.

So karar aşamasında, bazı önlemlere karşılık gelen kalan hata maliyetinin belirli bir değerde olduğu durumlar için çözüm maliyetinin “0” olması için gereken önlemleri dikkate alan bir değerlendirmeye geri dönülmesi faydalı olacaktır. Kalan hata maliyetinin belirli bir değerde olduğu hallerde çözüm maliyetinin kalan hata maliyetini “0” yapmak için alınacak önlemlerden daha düşük maliyetli olacağı beklenir. Bazı durumlarda çok az bir ek maliyetle kalan hatanın “0” olması sağlanabilir. Bu gibi durumları gözden kaçırmamak için aynı hata sebebi için kalan hata maliyetini “0” yapacak önlemlerin belirlenip bunların değerlendirme tablosunda ayrıca değerlendirilmesi tavsiye edilir. Bu noktada yönetim tarafından bir miktar ek maliyetle kalan hata maliyetinin tamamen ortadan kaldırılması da tercih edilebilir.

6.9 Oluşturulan Program

Buraya kadar verilen kısımlarda bir takım hesaplamalardan bahsedilmiştir. Bu hesaplamaların çıkış noktasındaki kolay uygulanabilirlik hedefinden bir miktar uzaklaşma riski getirebileceğinden hareketle konunun matematik hesaplamalar kısmının hazırlanacak basit bir program ile çözülmesinin yararlı olacağı düşünülmüştür. Bu hedefe yönelik olarak Excel paketinden yararlanılarak bir hesaplama tablosu geliştirilmiştir. Bu yardımcı program her hata sebebi için iyileştirme alternatiflerinin, ağırlıklarının ve performanslarının girilmesi ile BTA yöntemi ile hesaplamaları yapıp her sebep için ideal iyileştirme alternatifini vermekte ve elde edilen seçimin ELECTRE ile doğrulması gerekip gerekmediğini de ayrıca göstermektedir. ELECTRE uygulamasına yönelik olarak hazır paket programlar mevcuttur. ELECTRE ile yapılacak hesaplamalarda bu paketlerden yararlanılabilir. Ancak, uygulamalarda çözüm alternatiflerinin ve ölçütlerinin beşten fazla olmaması durumunda hesaplamalar daha önceki bölümlerde anlatıldığı şekliyle kolaylıkla elde yapılabilir.

Hazırlanan yardımcı programda her hata sebebi için iyileştirme alternatifleri, ölçütler ağırlıkları ve her alternatifin ölçütlerdeki performansları giriş sayfasında

tanımlandığında, sonuç sayfasında tüm sonuçlar alınabilmektedir. Giriş aşamasında tanımlanması gereken bir diğer parametre ise BTA sonucu elde edilen ideal seçeneğin puanının diğer seçenek puanlarının aritmetik ortalamasından ne kadar uzakta olması istendiğidir. Bu sayfanın çıktısı alınarak raporlama amaçlı kullanılabilir. Program dört iyileştirme alternatifi ve dört ölçüt için hazırlanmış olup daha fazla alternatif ve ölçüt olması durumunda değerlendirme sayfasındaki formüllerin kopyalanması veya daha az alternatifte silinmesi ile sonsuz sayıda sebep ve alternatifin değerlendirilmesine imkan verir. Programın uygulaması bir sonraki bölümde verilecektir.

7. YÖNTEMİN UYGULAMASI

Çalışmanın bu kısmında HTEÖA tekniğinde uygulamanın nasıl yapılacağı anlatılacak, daha sonra aynı örnek günümüzde kullanılan klasik yöntem ile tekrar değerlendirilecek ve yöntemlerin karşılaştırılması yapılacaktır.

Önceki kısımlarda HTEA tekniğinin sistem, ürün, proses ve bakım amaçlı olarak kullanılabileceğinden bahsedilmişti. Bu kısımda anlatılacak uygulama HTEÖA yönteminin en sık olarak kullanıldığı ürün başlığı üzerine olacaktır.

Örnek uygulama, Haziran 2002 tarihinde Arçelik Endüstriyel Motor İşletmesinin önemli bir OEM müşterisi olan Alman Flender Tübingen Firması ile beraber yürütülen yeni bir özel motor tasarımı faaliyetinde uygulanmıştır. Söz konusu firma Avrupa'nın en büyük iki genel amaçlı redüktör üreticisinden biri olup Tübingen Tesislerinde yılda 150.000 adet değişik güçlerde redüktör üretip tüm dünyaya pazarlamaktadır. Firmanın Arçelik ile yürüttüğü proje 2001 yılında başlamış olup 7 ana gövde tipinde 40' değişik versiyonda müşteriye özel motorun tasarımı 2002 yılı sonunda tamamlanacak ve firma 2003 yılından itibaren tüm motor ihtiyacını Arçelik Endüstriyel Motor İşletmesinden karşılayacaktır. Tasarım çalışmasının başladığı dönemde “Ürün HTEA” çalışması yapılmış ve Haziran 2002 tarihinde aynı çalışma bu tez kapsamında geliştirilen HTEÖA tekniği ile yeni bir motor tipi tekrarlanmış ve yeni yöntem Flender tarafından çok daha etkin bulunmuştur. Bu durum, bütünüyle ülkemiz Endüstri-Üniversite işbirliği ile geliştirilen bir kalite tekniğinin uluslararası boyutta takdir ve kabul görmesi açısından ayrı bir önem taşımaktadır.

7.1 HTEÖA Örnek Uygulama

Örnek uygulamada bu bölümün girişinde belirtildiği gibi genel amaçlı bir dişli kutusuna bağlanacak ve müşteriye yönelik olarak dizayn edilen bir elektrik motoru ele alınmıştır. Yeni nesil dişli kutularında çevrim oranlarını arttırabilmek için birinci dişli mil üzerine monte edilmek yerine milin ortasına açılan hassas bir deliğin içine sıkı geçme yapılmaktadır. Bu şekilde monte edilen dişlinin çapı mil üstüne takılan

dişliye göre daha küçük olabilmekte, böylelikle daha büyük bir çevrim oranı elde edilebilmektedir.

Örneğimizde, müşteri belirli olduğundan beklentileri de belirlidir. Dolayısıyla HTEÖA çalışmasında öncelikli olarak tanımlı olan müşteri öncelikleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Müşterinin 3 temel önceliği şunlardır;

1. Birinci dişlinin kesinlikle milden ayrılmaması. Böyle bir durum ortaya çıktığı zaman motor ile dişli kutusunun güç aktarımı açısından bağlantısı kalmayacağından özellikle kaldırma makinalarında yükün boşalması ve aşağıya düşmesi durumu sözkonusu olabilir.
2. Kalkış momentinin tanımlanan değer in altına düşmemesi. Yük altında kalkış yapılan uygulamalarda motorun ve bağlı olan dişli kutusunun kalkış yapabilmesi ve sistemin fonksiyonunu yerine getirebilmesi açısından önceliklidir.
3. Ses seviyesinin tanımlanan değeri aşmaması. Motor dişli kutusu ünitesi çok farklı sistemleri tahrik edebileceğinden özellikle sessiz ortamlardaki çalışma şartlarında sistemin ses seviyesi ön plana çıkmaktadır.

Çalışmada müşterinin yukarıda bahsedilen önceliklerinin hangi hata türleri ile ortaya çıkabileceği düşünülmüş daha sonra bu hata türlerinin etkileri belirlenmiş, etkileri ortaya çıkarabilecek sebepler ve etki maliyetleri sebeplerin şiddet ve keşfedilebilirlikleri dikkate alınarak tanımlanmıştır. Bir sonraki adımda bu sebeplerin ortaya çıkma olasılıkları belirlenmiş ve her bir sebep için etki maliyeti ile çarpılarak ayrı bir kolon halinde olası maliyetler tabloya dahil edilmiştir.

Çalışma sırasında birinci hata türünün iki sebepten ortaya çıkabileceği öngörülmüş ve bunların pinyon dişlinin mildeki delikten kurtulması ve milin ön taraftan kırılması olabileceği düşünülmüştür. Kalkış momentinin yetersizliğinin, sargı dizaynı yetersizliği ve hava aralığı yetersizliği gibi iki temel sebepten kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Ses probleminin ise, rotor sürtmesi, manyetik ve mylar/ip sürtmesi kaynaklı olabileceği düşünülmüştür. Böylece toplam 7 sebep üzerinde çalışma yapılması kararlaştırılmıştır. Daha sonra sebepleri ortadan kaldırmaya yönelik önlemler düşünülmüş ve her bir sebep için önlemler belirlenmiş, bu önlemlerin uygulanması durumunda kalan hata maliyetinin ne olabileceği tahmin edilmiştir. Bir sonraki adımda ise tüm önlemler maliyet, önleyicilik, verim, üretimin devamı kriterleri açısından birbirlerine göre değerlendirilmiştir. Böylece HTEÖA tablosu tamamlanmıştır (Tablo A1).

Aynı zamanda, seçim kriterlerinin birbirlerine göre önemini ortaya koyacak şekilde kriterlerin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Örneğimizdeki ağırlıklandırmada, birinci öncelik önleyiciliğe (%40) ve daha sonra sırasıyla maliyet (%30), verim (%20) ve üretimin sürdürülebilirliğine (%10) verilmiştir. Üzerinde çalışılan örnekte tüm hata türleri için ağırlıklandırmalar aynı kabul edilmiştir ancak değişik uygulamalarda seçim kriterlerinin hata türleri bazında ağırlıklandırılması farklılık gösterebilir. Bundan sonra, Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ve ELECTRE Yöntemleri 5. ve 6. bölümlerde verilen kurallar dahilinde kullanılarak sebepleri ortadan kaldırmaya yönelik çözüm alternatifleri arasında ideal olanı bulunmuştur.

7.1.1 Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemiyle Karar Verme

Aşağıdaki kısımda tüm hata sebeplerinin Basit Toplamlı Ağırlıklandırma yöntemi ile önceliklendirmesinde dikkate alınan diğer konular da sırasıyla verilmiştir. Değerlendirme matrisleri sırasıyla (Tablo 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7) verilmiştir.

Tablo 7.1 Delik Çapının Büyük Olması Sebebi Değerlendirme Tablosu

Önlem / Kriterler	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Üretimin Sür.
Yeni Makina Yatırımı	50/15	2	2	1
%100 Kontrol	50/20	2	1	2
Robotlu Ölçme	50/10	2	2	1
Takım Değiştirme periyodu	50/5	2	1	2

Tabloda görüldüğü gibi söz konusu hata sebebini önlemeye yönelik olarak 4 değişik faaliyet olabileceği düşünülmüştür. Tablonun 1. sütununa maliyetler maksimum maliyetin puanını en küçükleyecek şekilde normalize edilerek yazılmıştır. Önleyicilik tüm faaliyetler için yüksek bulunmuştur. %100 kontrol ve işleme takımının sık değiştirilmesi önlemleri verim açısından düşük, buna karşılık her iki önlem de üretimin sürdürülebilirliği açısından yüksek değerlendirilmiştir. Yani makina ve robotlu ölçme herhangi bir arıza durumunda üretiminin sürdürülebilirliği açısından dezavantajlı değerlendirilmiştir.

Daha sonra her kriter kendi içinde normalize edilmiştir. Çalışma sırasında maliyeti en küçükleyecek diğer kriterleri en büyükleyecek yönde hesaplama yapıldığından maliyet kriteri için normalizasyon iki kez yapılarak maliyetleri en küçükleyecek yönde hesaplanmıştır. Bir önceki sayfada verilen kriterlerin ağırlıklandırılmaları da dikkate alınarak aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

$$1. \text{ önlem} \quad (0.16) \times 0.3 + 2/8 \times 0.4 + 2/6 \times 0.2 + 1/6 \times 0.1 = 0.230$$

$$2. \text{ önlem} \quad (0.12) \times 0.3 + 2/8 \times 0.4 + 1/6 \times 0.2 + 2/6 \times 0.1 = 0.210$$

$$3. \text{ önlem} \quad (0.24) \times 0.3 + 2/8 \times 0.4 + 2/6 \times 0.2 + 1/6 \times 0.1 = 0.254$$

$$4. \text{ önlem} \quad (0.48) \times 0.3 + 2/8 \times 0.4 + 1/6 \times 0.2 + 2/6 \times 0.1 = 0.309$$

Böylece, hesaplamalar sonrasında en avantajlı önlemin puanı maksimum olan 4. önlem olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 7.2 Mil Kırılması Sebebi Değerlendirme Tablosu

Önlem / Kriterler	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Üretimin Sür.
Mil çapının büyütülmesi	18/10	2	2	2
Dip boşaltma formu değişikliği	18/5	1	2	2
Yeni mil malzemesi	18/3	2	2	1

Hata sebebini önlemeye yönelik olarak 3 değişik önlem olduğu düşünülmüştür. Dip boşaltma formunun değiştirilmesinin önleyiciliğe etkisinin çok fazla olamayabileceği, buna karşılık yeni özel mil malzemesinde ise temin zorlukları nedeniyle üretimin sürdürülebilirliğinde sıkıntı yaşanabileceği düşünülmüştür.

Yapılan hesaplama sonucunda;

$$1. \text{ önlem} \quad (0.16) \times 0.3 + 2/5 \times 0.4 + 2/6 \times 0.2 + 2/5 \times 0.1 = 0.314$$

$$2. \text{ önlem} \quad (0.31) \times 0.3 + 1/5 \times 0.4 + 2/6 \times 0.2 + 2/5 \times 0.1 = 0.279$$

$$3. \text{ önlem} \quad (0.53) \times 0.3 + 2/5 \times 0.4 + 2/6 \times 0.2 + 1/5 \times 0.1 = 0.405$$

Bu hata sebebi için de 3. önlemin ideal çözüm olduğu bulunur.

Tablo 7.3 Sargı Dizaynı Yetersizliği Sebebi Değerlendirme Tablosu

Önlem / Kriterler	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Üretimin Sür.
Tel miktarında %10 artış	20	2	1	2
Paket boyunda %10 artış	10	2	2	2
Yüksek verimli sac kullanımı	15	1	2	1

Sargı dizaynı kaynaklı sebepte de 3 önleyici faaliyet düşünülmüştür. Burada yüksek verimli sac kullanımında önleyiciliğin diğer önlemlere göre daha az etkin olabileceği ve bulunabilirlik açısından üretimin sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyeceği varsayılmıştır. Ayrıca tel miktarındaki artış da üretim zamanını arttıracığından verimi olumsuz etkileyecektir.

Yapılan hesaplama sonucunda;

$$1. \text{ önlem} \quad (0.23) \times 0.3 + 2/5 \times 0.4 + 1/5 \times 0.2 + 2/5 \times 0.1 = 0.309$$

$$2. \text{ önlem} \quad (0.46) \times 0.3 + 2/5 \times 0.4 + 2/5 \times 0.2 + 2/5 \times 0.1 = 0.418$$

$$3. \text{ önlem} \quad (0.31) \times 0.3 + 1/5 \times 0.4 + 2/5 \times 0.2 + 1/5 \times 0.1 = 0.273$$

En avantajlı çözüm 2. önlemdir.

Tablo 7.4 Hava Aralığı Yetersizliği Sebebi Değerlendirme Tablosu

Önlem / Kriterler	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Üretimin Sür.
Rotor torna miktarını arttırma	23/8	2	2	2
Stator içi mikroler	23/5	2	1	1
Stator içi rayba	23/10	2	1	1

Bu sebebin incelenmesinde de stator içi mikroler ve rayba seçeneklerinde ekipmanın tedarik edilebilirliği ve ilave bir operasyon olması nedeniyle verim düşüklüğü kriterlerinden olumsuz değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan hesaplama sonucunda;

$$1. \text{ önlem} \quad (0.29) \times 0.3 + 2/6 \times 0.4 + 2/4 \times 0.2 + 2/4 \times 0.1 = 0.369$$

$$2. \text{ önlem} \quad (0.47) \times 0.3 + 2/6 \times 0.4 + 1/4 \times 0.2 + 1/4 \times 0.1 = 0.348$$

$$3. \text{ önlem} \quad (0.24) \times 0.3 + 2/6 \times 0.4 + 1/4 \times 0.2 + 1/4 \times 0.1 = 0.279$$

En avantajlı çözüm 1. önlemdir.

Tablo 7.5 Rotor Salgı Fazlalığı Sebebi Değerlendirme Tablosu

Önlem / Kriterler	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Üretimin Sür.
Yeni tezgah yatırımı	42/10	2	2	1
%100 ölçme ve %2 ayırma	42/30	2	1	2
Tezgah ve aparatların iyileştiril.	42/2	1	2	2

Değerlendirmede, tezgah ve aparat iyileştirilmesinin önleyiciliğe etkisinin az, %100 ölçmenin verimlilik açısından olumsuz ve yeni tezgahın da herhangi bir arıza durumunda üretimin sürdürülebilirliğinin olumsuz etkilenebileceği düşünülmüştür.

Yapılan hesaplama sonucunda;

$$1. \text{ önlem} \quad (0.16) \times 0.3 + 2/5 \times 0.4 + 2/5 \times 0.2 + 1/5 \times 0.1 = 0.308$$

$$2. \text{ önlem} \quad (0.05) \times 0.3 + 2/5 \times 0.4 + 1/5 \times 0.2 + 2/5 \times 0.1 = 0.255$$

$$3. \text{ önlem} \quad (0.79) \times 0.3 + 1/5 \times 0.4 + 2/5 \times 0.2 + 2/5 \times 0.1 = 0.437$$

En avantajlı çözüm 3. önlemdir.

Tablo 7.6 Manyetik Ses Sebebi Değerlendirme Tablosu

Önlem / Kriterler	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Üretimin Sür.
Laminasyon diazını iyileştirme	9/3	2	2	2
Sargı dizaynı iyileştirme	9/5	2	1	2
Bara açısını artırma	9/1	2	2	2

Bu hata sebebinin değerlendirilmesinde, sargı dizaynı iyileştirmesi ile sarılan tel miktarının artması ve dolayısıyla verimin olumsuz etkileneceği düşünülmüştür.

Yapılan hesaplama sonucunda;

$$1. \text{ önlem} \quad (0.22) \times 0.3 + 2/6 \times 0.4 + 2/5 \times 0.2 + 2/6 \times 0.1 = 0.311$$

$$2. \text{ önlem} \quad (0.13) \times 0.3 + 2/6 \times 0.4 + 1/5 \times 0.2 + 2/6 \times 0.1 = 0.244$$

$$3. \text{ önlem} \quad (0.65) \times 0.3 + 2/6 \times 0.4 + 2/5 \times 0.2 + 2/6 \times 0.1 = 0.440$$

En avantajlı çözüm 3. önlemdir.

Tablo 7.7 Mylar / İp Sürtmesi Sebebi Değerlendirme Tablosu

Önlem / Kriterler	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Üretimin Sür.
Yeni form kalıbı	15/5	2	2	2
%100 kontrol	15/10	2	2	2

Yapılan hesaplama sonucunda

1. önlem $(0.66) \times 0.3 + 2/4 \times 0.4 + 2/4 \times 0.2 + 2/4 \times 0.1 = 0.548$

2. önlem $(0.34) \times 0.3 + 2/4 \times 0.4 + 2/4 \times 0.2 + 2/4 \times 0.1 = 0.452$

En avantajlı önlem 1. önlemdir.

Çalışma sırasında, çözüm önerileri olarak aynı önlemleri daha düşük etki ve maliyette ele alan buna karşılık bir miktar kalan hata maliyeti taşıyan alternatifler için ayrıca hesaplama yapılmamıştır, çünkü bu alternatifler kalan hata maliyetini “0”a indiren çözüm önerileri ile (maliyet oranları değişmekle beraber) birebir aynıdır.

Ayrıca yapılacak yeni yatırımların ekonomik ömrü 10 yıl kabul edilmiştir. Bunun sonucunda maliyet sütunlarında yıllık bazda değerlendirme yapıldığından yatırımın toplam maliyeti 10’a bölünerek yer almıştır.

Hesaplamalar sonucu belirlenen önceliklerde 4. bölümde verilen kriterler çerçevesinde değerlendirilmeli ve gerekiyorsa ideal seçenek olup olmadıkları konusundaki güvenilirlikleri doğrulanmalıdır. Hatırlanacağı üzere burada yeterli güvenilirliğin sağlanması amacıyla kullanılacak iki koşul vardır ve bunlardan birincisi seçilen ideal önlemin en ağırlıklı ölçüte performans değerinin diğer ölçütlere göre en zayıf olmaması ve ikinci olarak da seçilen ideal önlemin puanının diğer seçeneklerin puanlarına kıyasla oldukça baskın olması gerekliliğidir. Örneğimizde ikinci koşulu sağlamak için ideal önlemin aldığı puanın o hata türü için tüm seçeneklerin aldıkları puanların aritmetik ortalamasından %20 veya daha üzerinde bir değer alması şartı getirilmiştir. Ayrıca birinci koşulu sağlamak için de seçilen ideal seçeneğin en ağırlıklı ölçüt olan “önleyicilik” ölçütünde diğer seçeneklere göre aynı seviyede veya daha üstün olması aranacaktır. Seçilen tüm ideal seçenekler bu koşullar doğrultusunda değerlendirildiğinde üç hata sebebi için güvenilirliğin test edilmesi gerekliliği ortaya çıkar. Bunlar, “Hava aralığı yetersizliği”, “Rotor salgısı fazlalığından dolayı sürtme” ve “Mylar/İp sürtmesi” hata sebepleridir. Dolayısıyla bu sebepler için ELECTRE yöntemiyle tekrar hesaplama yapılmalıdır. Ancak, örnek uygulamada ELECTRE uygulamasının tam olarak anlaşılabilmesi için tüm hata sebepleri için hesaplamalar tekrarlanmıştır. İlerleyen kısımda değerlendirmeler

ELECTRE sonuçlarına göre de yorumlanacak ancak asıl sonuca yönelik değerlendirme 7.1.3 bölümünde yapılacaktır.

7.1.2 ELECTRE Yöntemiyle Karar Verme

Electre yönteminde seçeneklerin birbirine göre uyumunun belirli bir seviyenin üstünde ve uyumsuzluğunun da yine belirli bir seviyenin üstünde olmaması aranacağından çalışma uyum, normalize ve uyumsuzluk matrislerinin oluşturulması ile yürütülür. Daha sonra uyum ve uyumsuzluk eşikleri tesbit edilerek seçenekler değerlendirilir.

7.1.2.1 Delik Çapının Büyük Olmasının ELECTRE İle Değerlendirilmesi

Tablo 7.8 Uyum Matrisi

	1	2	3	4
1	-	0.9	0.7	0.7
2	0.5	-	0.5	0.7
3	1	0.9	-	0.6
4	0.8	1	0.8	-

Tablo 7.9 Normalize Matrisi

	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Ürt. Sürd.
1	0.16	0.25	0.33	0.16
2	0.12	0.25	0.16	0.33
3	0.24	0.25	0.33	0.16
4	0.48	0.25	0.16	0.33

Tablo 7.10 Uyumsuzluk Matrisi

	1	2	3	4
1	-	0.47	0.22	0.88
2	0.47	-	0.47	0.66
3	0	0.47	-	0.66
4	0.47	0	0.47	-

Bu hata türü sebebi için uyum eşiği 0.8 uyumsuzluk eşiği 0.3 alındığında ,

$$a_i S a_j < = > \begin{cases} c(a_i, a_j) \geq c \\ d(a_i, a_j) \leq d \end{cases}$$

sartını sağlayacak yegane elemanın a_{41} olduğu görülmüştür.

Dolayısıyla ELECTRE yöntemi ile de ideal çözüm seçeneği Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemi ile tesbit edilen 4. seçenektir.

7.1.2.2 Mil Kırılması Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi

Tablo 7.11 Uyum Matrisi

	1	2	3
1	-	0.7	0.7
2	0.6	-	0.3
3	0.9	0.9	-

Tablo 7.12 Normalize Matrisi

	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Ürt. Sürd.
1	0.16	0.4	0.33	0.4
2	0.31	0.2	0.33	0.4
3	0.53	0.4	0.33	0.2

Tablo 7.13 Uyumsuzluk Matrisi

	1	2	3
1	-	0.4	1
2	0.54	-	0.54
3	0.54	0.54	-

Bu maddede uyum eşiği 0.8, uyumsuzluk eşiği 0.6 alınırsa a_{31} ve a_{32} çizgelerinin çizilebildiği görülür dolayısıyla ideal seçenek 3. seçenek olarak ortaya çıkar. Dolayısıyla burada Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemiyle tesbit edilen 3. seçenek aynen korunur.

7.1.2.3 Sargı Dizaynı Yetersizliği Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi

Tablo 6.14 Uyum Matrisi

	1	2	3
1	-	0.5	0.5
2	1	-	1
3	0.5	0.3	-

Tablo 7.15 Normalize Matrisi

	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Ürt. Sürd.
1	0.23	0.4	0.2	0.4
2	0.46	0.4	0.4	0.4
3	0.31	0.2	0.4	0.2

Tablo 7.16 Uyumsuzluk Matrisi

	1	2	3
1	-	1	0.86
2	0	-	0
3	0.86	0.86	-

Eşik değerleri uyum 0.8, uyumsuzluk 0.3 alındığında a_{21} ve a_{23} çizgelerinin çizilebildiği görülür dolayısıyla ideal seçenek çok net bir biçimde 2. önlemdir. Bu hata türü sebebi için de Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemi ile de aynı seçenek saptanmıştı.

7.1.2.4 Hava Aralığı Yetersizliği Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi

Tablo 7.17 Uyum Matrisi

	1	2	3
1	-	0.7	1
2	0.7	-	1
3	1	0.46	-

Tablo 7.18 Normalize Matrisi

	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Ürt. Sürd.
1	0.29	0.33	0.5	0.5
2	0.47	0.33	0.25	0.25
3	0.24	0.33	0.25	0.25

Tablo 7.19 Uyumsuzluk Matrisi

	1	2	3
1	-	0.69	0
2	0.96	-	0
3	0.96	0.79	-

Bu hata türü için diğer maddelerde kullanılan eşik değerleri ile hesaplama yapıldığında, a_{13} ve a_{23} , çizgelerinin çizilebildiği görülür bu durumda 1 ve 2. seçenekler ön plana çıkar ancak Uyumsuzluk Eşiği 0.69 değerini de içine alacak şekilde bir miktar yükseltirsek bu durumda a_{12} , a_{13} ve a_{23} çizgeleri çizilir ki bu durumda 1. kriter yani Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ile tesbit edilen kriter ön plana çıkar, dolayısıyla bu hata türü sebebinin önlenmesine yönelik son karar dikkatli düşünüldü 1. ve 2. seçenekler arasında biri olarak verilmelidir. Ancak 3. seçeneğin hiçbir durumda seçilemeyeceği açıktır. Örneğimizde BTA ile saptanan ideal önlem olan 1. seçenek üzerinde karar kılınmıştır.

7.1.2.5 Rotor Salgı Fazlalığı Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi

Tablo 7.20 Uyum Matrisi

	1	2	3
1	-	0.9	0.6
2	0.5	-	0.5
3	0.6	0.6	-

Tablo 7.21 Normalize Matrisi

	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Ürt. Sürd.
1	0.16	0.4	0.4	0.2
2	0.05	0.4	0.2	0.4
3	0.79	0.2	0.4	0.4

Tablo 7.22 Uyumsuzluk Matrisi

	1	2	3
1	-	0.27	0.27
2	0.27	-	1
3	0.27	0.27	-

Bu hata türü için düşünülen çözüm alternatifleri arasında 3. seçenek BTA yöntemiyle ideal seçenek olarak belirlenmişti. Ancak sözkonusu seçeneğin en ağırlıklı ölçüt olan önleyicilikte performansı diğer ölçütlere göre zayıftı dolayısıyla ELECRe ile yapılan değerlendirilmeden elde edilecek sonuç bu hata türü için son derece önemlidir. Bu hata türü için de uyum ve uyumsuzluk eşikleri olarak 0.8 ve 0.3 değerleri alındığında çizilebilecek tek çizgenin a_{12} olduğu görülür ve buna bağlı

olarak ELECTRE yöntemin ile yapılan değerlendirmede ideal önlem 1. önlem olarak belirlenir. Bu hata türü için her iki değerlendirme sonucunda maliyet açısından 3. önleme göre biraz daha zayıf da olsa önleyicilik açısından kuvvetli olduğundan 1. seçenek ideal önlem olarak kabul edilmiştir.

7.1.2.6 Manyetik Ses Sebebinin ELECTRE İle Değerlendirilmesi

Tablo 7.23 Uyum Matrisi

	1	2	3
1	-	1	0.7
2	0.5	-	0.5
3	1	1	-

Tablo 7.24 Normalize Matrisi

	Maliyet	Önleyicilik	Verim	Ürt. Sürd.
1	0.22	0.33	0.4	0.33
2	0.13	0.33	0.2	0.33
3	0.65	0.33	0.4	0.33

Tablo 7.25 Uyumsuzluk Matrisi

	1	2	3
1	-	0	0.82
2	0.38	-	1
3	0	0	-

Burada da uyumsuzluk eşiği 0.4 kabul edilerek a_{12} , a_{31} ve a_{32} çizgeleri çizilebilir ve aynen BTA ile bulunduğu gibi 3. seçenek net olarak seçilebilir.

7.1.2.7 Mylar / İp Sürtmesi Hatası

Bu hata türü sebebinde sadece 2 çözüm seçeneği olduğundan Electre Yönteminin uygulanmasına gerek duyulmamış ve Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ile saptanan seçenek korunmuştur.

7.1.3 Genel Değerlendirme ve İyileştirilecek Hata Türlerinin Belirlenmesi

Uygulama sonrasında genel bir değerlendirme yapılırsa, ELECTRE Yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmelerde bulunan ideal önlemlerin BTA ile yapılan değerlendirme sonuçlarına göre saptanan ve güvenilirlik koşullarını sağlayan seçeneklerle birebir aynı olduğu görülür. Güvenilirlik koşullarını sağlamayan seçeneklerde ise ELECTRE yöntemi ile yapılan ikinci değerlendirmelerde BTA ile saptanan seçeneklere alternatif ve farklı seçenekler ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla başta verdiğimiz karar doğrultusunda Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ve ELECTRE Yöntemlerinin ardışık olarak kullanılması önerisinin uygulama sonrasında geçerliliği ispatlanmıştır. Her iki yöntemin eşzamanlı kullanımı ile tesbit edilen çözüm önerileri yeni matriste yerlerini alarak 128. sayfada verilen HTEÖA tablosu son şekli ile oluşturulur (Tablo 7.27).

Görüldüğü gibi tablonun son durumu oldukça informatif bir şekil kazanmıştır.

Burada müşterinin (özellikleri ve beklentileri belirli veya belirsiz), hassasiyeti bilinen veya tahmin edilen konularda olası dış başarısızlık maliyetleri, bunların ortadan kaldırılabilmesi için yapılması gereken önleyici faaliyetler ve bu faaliyetlerin uygulanması durumunda katlanılması gereken önleme, ölçme ve iç başarısızlık maliyetlerinin tümü tablo üzerinde kolaylıkla görülebilmektedir. Bu noktadan sonra karar vermek tamamen firma politikaları, proje için ayrılan bütçe ve insan kaynağına bağlı hale gelir.

Uygulama sırasında çözüm alternatiflerinin diğer hata türleri üzerindeki etkilerini de dikkate alabilmek için oluşturulan Etkileşim İnceleme Matrisinden de faydalanılmıştır (Tablo 7.26).

Verilen örnekte “Yükün Boşalması” etkisine sebep olacak tüm hata türlerine yönelik sebeplerin iyileştirilmesine karar verilmiştir. Burada yıllık 8.000 Euro’luk bir maliyete katlanılarak çok önemli bir potansiyel hata önlenecektir. Ayrıca “Yükün Kaldırılmaması” etkisini yaratan kalkış momenti yetersizliği durumunun sebeplerine karşılık alınacak önlemlerin birbiri üzerine etkisi olduğu tesbit yapılarak yıllık maliyeti daha düşük olan rotor tornanın artırılması ile hava aralığının büyütülmesi ve kalkış momentinin yükseltilmesine karar verilmiştir. Bu çözüm

önerisi, bir sonraki rotor sürtmesi kaynaklı ses problemi üzerinde de olumlu etki yapacaktır. Burada yıllık 8.000 Euro’luk bir maliyet artışı ile 15.000 Euro tasarruf beklenmektedir.

Tablo 7.26 Etkileşim İnceleme Matrisi

ETKİLEŞİM İNCELEME MATRİSİ										
Hata Türü	Hatanın Etkisi	Etki Maliyeti	Sebebi	Sebebin Olasılığı	Olası Etki Maliyeti	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Sonuç Hata Maliyeti
Prinyon dışının yerinden çıkması	Yükün boşalması	Hayati risk Her bir vaka için 250.000 € tazminat	Delik çapının büyük olması	0.2	50.000 €	Yeni Makina yat.	%100 Kontrol 2 ilave enspektör.	Robotlu ölçme sistemi.	Raybanın 200 parçada bir değiştirilmesi.	0
	Milinin kırılması		Mil dizaynu zayıflığı			Mil çapının büyümesi. 6205 yerine 6206 rulmanı kullanımı.	Kasnak yeni yeni dip boşaltma formu. ilave takım ve operasyon	Mil malzemesinin değiştirilmesi	5.000€	0
Kalkış momenti yetersizliği	Yükün kaldırılma-ması	Motorların %65'inin iadesi 50.000 €	Sargı dizaynının yetersizliği	0.2	10.000 €	Tel miktarının %101 artırılması	Laminasyon paket boyunun %10 artırılması	Yüksek verimli laminasyon sacı kullanımı		0
			Hava aralığının yetersizliği	0.2	10.000 €	Rotor tornanın artırılması ile hava aralığının büyütülmesi	Stator içi mikroler ile hava aralığının büyütülmesi	Stator içi rayba ile hava aralığının artırılması	15.000€	0
Sesli çalışma	Müşteride rahatsızlık	Motorların %2'sinin müşteriden dönməsi. 25.000 €	Rotor salgısının yüksekliğinden kaynaklanan sürtme.	0.6	15.000 €	Yeni tezgah yatırımı	%100 Ölçme ve %2 iskarta ile çalışma	Tezgah ve tutma aparatlarının iyileştirilmesi		0
			Manyetik ses			Laminasyon dizaynu iyileştirme. 30.000 €	Sargı dizaynu iyileştirme 10.000	Bara açısını artırma		0
			Mylar/lp sürtmesi	0.6	15.000 €	Yeni form kalıba ve diğış aparatı. 50.000€	%100 Kontrol ve dizeltme. 1 ilave enspektör		2.000€	0

“Sesli çalışma”, konusunda ise manyetik ses ve mylar/ip sürtmesi potansiyel sebeplerine odaklanılacaktır. Burada da yıllık 6.000 Euro ilave maliyet geleceği düşünülmüştür. Sonuç olarak yıllık 23.000 Euro maliyet artışına katlanılacak, böylece yaşamasal etkisi olan ve buna ilave olarak ikinci öncelikteki potansiyel hatalar tamamen ortadan kaldırılacaktır. Ancak buna karşılık, hala rotor salgısının yüksekliğinden kaynaklanan sürtme nedeniyle bir miktar hata riski taşınmakla beraber, kalkış momentini arttırmak için yapılacak rotor torna miktarının artırılması

çözümün buradaki riski de azaltacaktır. Yapılacak iyileştirme çalışmalarının tümü tablo üzerinde **kalm** karakterlerle belirtmiştir

Görüldüğü gibi klasik HTEA çalışmasındaki tamamen tahminlere dayalı ve çözüm önerilerini yorumsuz olarak doğru ve verimli kabul eden tablolar yerine, çok daha informatif, çözüm önerilerini ve maliyetlerini de içeren HTEÖA Tablosuna geçiş yapılmıştır. Böylesine etkin bir aracın endüstride iyileştirme yönünde karar vermeye sağlayacağı katkı açıktır.

7.1.4 Geliştirilen Yardımcı Programın Uygulaması

6. Bölümde anlatıldığı gibi tez çalışmasının başlangıcındaki hedeflerden kolay uygulanabilirliğin sağlanması amacıyla hesaplamaların bir program yardımıyla yapılması düşünülmüştür. Bu amaçla Excel üzerinde çalışan bir program hazırlanmıştır (EK B). Uygulama sırasında girişlerin bu programın “*giriş*” sayfasına yapılması ile değerlendirmeler kendiliğinden yapılmakta ve ideal seçenekleri içeren sonuç matrisi “sonuç” sayfasında doğrudan alınabilmektedir. Bu amaçla öncelikle hata türleri, etkileri ve sebepleri belirlenerek tabloya girilmelidir. Daha sonra her hata sebebi için önlemler, ağırlıkları ve bu ağırlıklara karşılık gelen performanslar grup tarafından belirlenerek ilgili bölümlere kaydedilmelidir. Bu bölümler giriş sayfasında mavi renk ile belirlenmiştir. Tablonun giriş kısmındaki önlem ve ağırlık giriş bölümleri dörtlü alternatiflere göre düzenlenmiştir. Önlem sayısının daha az olması durumunda kırmızı ile işaretlenmiş kutulardaki formüller silinerek etkisi ortadan kaldırılabilir. Hata sebebinin verilen ekteki programdaki sayıdan fazla olması durumunda ise giriş, değerlendirme ve sonuç sayfalarındaki her sebep için verilen beş satırlık bloklar her üç sayfada en alta kopyalanarak ilave edilip çalışma istendiği kadar genişletilebilir. Burada bir başka önemli giriş ise BTA hesaplamalarında en baskın seçeneğin puanının ortalamadan ne kadar uzakta olması istendiğidir. Bu giriş de ilk sayfadaki üst bölümde tanımlanan bölgeye yapılır. Sonuç sayfasında her hata sebebi için seçilen ideal önlem ve bu önlemin ELECTE ile doğrulanıp doğrulanmayacağının çıktısı alınır. ELECTRE ile doğrulama gereken durumlarda bu işlem program harici yapılmalıdır. Program uygulamalara önlem alternatiflerinin performanslarının değişmesinin sonuç üzerindeki etkilerini görme imkanı da verir. Program üzerinde performanslar değiştirilerek sonuçlar izlenebilir. Uygulamada program ve el ile yapılan hesaplamaların sonuçları birebir tutarlılık göstermiştir.

Tablo 7.27 Hata Türü, Etkileri ve Önlem Analizi Sonuç Tablosu

HATA TÜRLERİ ETKİ VE ÖNLEM ANALİZİ						
Hata Türü	Hatanın Etkisi	Hata Maliyeti	Sebep	Olası Maliyet	Önlem	Kalan Hata Maliyeti
Delik çapının büyük olması	Yükün boşalması	Hayati risk Her bir vaka için 250.000€ tazminat	Pinyon dişlinin yerinden çıkması	50.000 €	Raybanın 200 parçada bir değiştirilmesi. 5.000 €/yıl	0
Mil'in kırılması			Mil dizaynı zayıflığı	75.000 €	Mil malzemesinin değiştirilmesi. 3.000 €/yıl	0
Kalkış momenti yetersizliği	Yükün kaldırılma-ması	Motorların %5'inin iadesi 50.000 €/yıl	Sargı dizaynının yetersizliği	10.000 €	Laminasyon paket boyunun %10 artırılması 10.000 €/yıl	0
			Hava aralığının yetersizliği	10.000 €	Laminasyon paket boyunun %5 artırılması 5.000 €/yıl	Motorların %2'sinin iadesi. 20.000 €/yıl
Sesli çalışma	Müşteride rahatsızlık	Motorların %2'sinin müşteriden dönmesi. 25.000 €/yıl	Rotor salgısının yükseklüğünden kaynaklanan sürtme.	15.000 €	Rotor tornanın artırılması ile hava aralığının büyütülmesi 8.000 €/yıl	0
			Manyetik ses	7.500 €	Tezgah ve tutma aparatlarının iyileştirilmesi. 2.000 €/yıl	0
			Mylar/İp sürtmesi	15.000 €	%50 Örneklene ve %1 ıskarta ile çalışma 15.000 €/yıl	Motorların %1'inin müşteriden dönmesi. 10.000 €/yıl
					Bara açısını artırma. 2.000 €/yıl	0
					Yeni form kalıbı ve dikiş aparatı. 5.000 €/yıl	0

€: Euro

7.2 HTEA Örnek Uygulama

Aynı örneğin klasik HTEA yöntemi ile değerlendirilmesinde ise, hata türlerinin, etkilerinin ve sebeplerinin incelenmesi yeni tanımlanan yöntem ile aynıdır. Hataların

türleri, olası etkileri ve sebeplerin sırası ile belirlenir ve tabloda kendileri için ayrılmış kısımlara yerleştirilir.

Daha sonra bir önceki kısımda belirtildiği şekilde herhangi bir maliyet hesabına girilmeden herbir potansiyel sebep için söz konusu sebebin ortaya çıkma olasılığı, ortaya çıkması durumunda oluşacak kayıplar ve hatanın herhangi bir aşamada farkedilebilirliği açısından 1 den 10'a kadar puanlar verilir.

Bir sonraki adımda her üç puan birbiri ile çarpılarak tüm sebeplerin Risk Öncelik Göstergeleri (Dereceleri) bulunur. Bundan sonra iyileştirme yapılacak konuları belirleyebilmek için bir limit değer tanımlanır. Böylece çalışmanın ilk kısmı tamamlanmış olur. (Tablo 7.28)

Bu örnekte %90 güvenilirlik seviyesi ile çalışılması düşünülerek $1000-900=100$ hesaplaması ile eşik değer 100 puan olarak tanımlanmıştır. Bu durumda tablodaki ikinci ve üçüncü hata sebepleri üzerinde çalışılması gereken konular olarak tesbit edilmiş olur.

Uygulamanın bundan sonraki kısmında genellikle sözkonusu problem sebeplerini en doğru ve kolay şekilde teşhis edebileceği ve iyileştirme yönünde öneri getirebileceğine inanılan kişi veya gruplara görevlendirme yapılarak uygun iyileştirme önlemlerini tanımlamaları için süre verilerek kendilerinden çalışma beklenir.

Verilen termin sonunda grup tekrar biraraya gelerek görev verilen kişilerin önerilerini değerlendirir ve iyileştirme önerileri kesinleştirilerek uygulamaya alınır.

Tablo 7.28 Hata Türü ve Etkileri Değerlendirme Tablosu

HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ													
Hata Türü	Hatanın Etkisi	Sebepler	Mevcut Durum			RÖG	İyileştirme	Sorumlu	Yapılan	Sonuç			RÖG
			Olası.	Şiddet	Sapt.					Olası.	Şiddet	Sapt.	
Pinyon dişlinin yerinden çıkması	Yükün boşalması	Delik çapının büyük olması	2	10	1	20	Delik işleminin iyileştirilmesi			2	10	1	20
			3	10	4	120				1	10	4	40
Kalkış momenti yetersizliği	Yükün kaldırılmaması	Sargı dizaynı yetersiz	2	8	7	112	Dizayn iyileştirme	Nejat GÜREŞ	Tel miktarı artışı	1	8	7	56
			2	5	7	70				2	5	7	70
Sesli çalışma	Müşteri şikayeti	Rotor salgısı yüksek	6	4	3	72	İşleme iyileştirme			6	4	3	72
			3	4	7	84				3	4	7	84
		Mylar İp sürtmesi	6	4	3	72	İşleme iyileştirme			6	4	3	72

Uygulamadan da görüleceği gibi iyileştirmeler sonunda hata sebeplerinin özellikle olasılık açısından daha düşük puanlar almış ve bunun sonucu olarak da sonuç RÖG değerleri eşik değer olan 100 sayısının altına düşmüştür.

Böylelikle çalışma tamamlanarak ürün üzerindeki hata riskinin azaldığı ve bunun sonucunda sebep olabilecek zararın en küçüklendiği düşünülmür.

7.3 Yöntemler Arasındaki Farklar

Yöntemler arasındaki farklar aşağıdaki başlıklar altında verilebilir;

- HTEA Yönteminde hataların olası maliyetleri yer almaz, sadece ortaya çıkabilecek olumsuzluklar şiddet başlığı altında değerlendirilmeye çalışılır. Bu nedenle grup üyeleri olası hataların mali boyutu ve yıkıcılığı ile ilgili net bir

fikir sahibi olamaz. Oysa HTEÖA Yönteminde daha somut veriler söz konusudur. Böylesi durumlarda, özellikle yaşamsal risk olması veya çok büyük maliyetlerin sözkonusu olması durumunda, grup üyelerinde ve dolayısıyla firma genelinde bir bilinç ve dikkat artışı beklenmektedir.

- HTEA Yönteminde önceliklerin belirlenmesi tamamen tahmini puanların birbiri ile çarpılması sonucu bulunan bir indeksin diğerleri ile mukayesesıyla olmaktadır, dolayısıyla belirli oranda subjektiftir. Oysa HTEÖA Yönteminde önceliklendirme tamamen fayda / maliyet parametreleri göz önünde bulundurularak yapılır.
- HTEA Yöteminde çalışmanın ağırlıklı kısmı birinci kısımdır. İyileştirme gerektiren parametreler belirlendikten sonra genellikle konuya kişiler görevlendirilerek çözüm aranır ve daha sonra bulunan çözümler çerçevesinde riskler tekrar değerlendirilir. HTEÖA Yönteminde ise çözümler de müştereken aranır ve daha fazla çözüm önerisinin ortaya çıkması beklenir.
- HTEA Yönteminde genellikle belirli bir eşik değerin üzerinde kalan konularla ilgilenilir oysa yeni sistematikte tümü ile ilgilenilir. Bu nokta aslında klasik HTEA yönteminin bir zayıf noktasıdır. Şiddetin çok ağırlıklı olduğu bazı durumlarda olasılık ve keşfedilebilirlik değerlerinin çok düşük olması halinde son derece kritik olaabilecek hata türlerinin değerlendirme dışında kalabilme olasılığı vardır. Örneğimizde ortaya çıkma olasılığı çok düşük ve saptanabilirliği çok yüksek olmasından dolayı delik çapının büyük olması hata sebebi iyileştirme yapılacak hata sebeplerinin dışında bırakılmıştır. Ancak olasılığı düşük de olsa bu hatanın ortaya çıkması büyük kayıplara sebep olabilir. Yeni yönetmin uygulanması ile bu konu öncelikli olarak iyileştirilmesi gereken sebepler arasına alınmıştır.
- Yeni yöntemde çözüm önerilerinin maliyetleri de belirlidir. Dolayısıyla uygulama kararını vermek tamamen rakamsal verilere bağlıdır.
- Yeni sistematğin tek olumsuz yönü ise çalışmanın tamamlanabilmesi için daha fazla zamana ihtiyaç olabileceğidir. Ancak oluşturulan program ile bu durum ortadan kısmen kaldırılmıştır.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzde, yaşanan ve etkisi gittikçe artan uluslararası rekabette, kalite olgusu ürünler arasında tercih sebebi olabilececek bir ayrıcalık olmaktan çıkmış, tüketicilerin sahip olmayı en doğal hakları olarak gördükleri ve ürünlerde kuşku duyulmayacak şekilde var olması gereken bir boyut kazanmıştır. Bu durum, beraberinde maliyet olgusunu da içermektedir. Artık tüketiciler yüksek kaliteyi en düşük fiyatla elde etmek istemektedir. Son yıllarda artan bir ivme ile yaşanan bu gelişmeler ve talepler eskiden olduğu gibi sadece kontrol boyutuyla sınırlı kalan bir kalite olgusuyla karşılanamaz. Bugün kalite kontrol söylemi yerine, kalitenin önleyici boyutu ön plana çıkmış hatta bir yönetim biçimi haline gelmiştir.

Sınırların kaldırılması ve yerküre üzerinde değişik çok uluslu birliklerin oluşması, ulaştırma araçları ve olanaklarının gelişimi ile mesafelerin kısalması sonucunda artık üretim ve ticarete yerel ölçek diye bir kavram kalmadı. Böylesine değişken uluslararası rekabetin içinde varolmak isteyen firmalar günümüzün modern yöntemlerini kullanmak zorundadır. Bu noktada önleyici yöntemlerin en göze çarpanı olarak Hata Türü ve Etkileri Analizi dikkat çekiyor. Bu yöntemin iyi anlaşılacak ve asıl amacına yönelik olarak yaygın kullanımı, firmaların, sistem, tasarım, proses ve bakım/hizmet faaliyetlerinin kusursuzluğu açısından çok önemlidir.

Ancak, eleştirel bir bakış açısıyla incelendiğinde yöntemin iki temel zayıf yönü vardır. Birincisi hata sebeplerinin değerlendirilmesindeki subjektiflik ikincisi ise seçilen hataların iyileştirilmesine yönelik olarak yapılacak çalışmaların ilk bölümden kısmi kopukluğudur.

Tez kapsamında yapılan çalışmada bu iki zayıf yönün kuvvetlendirilmesi hedeflenmiştir. Öncelikli olarak her hata sebebini önlemeye yönelik çözüm seçeneklerinin yine çalışmayı yapan ekip tarafından ortaklaşa olarak kararlaştırılması fikri benimsenmiştir. Bu noktada çözüm seçeneklerinin hataları tamamen ortadan kaldırma hedefi olmasına karşın yaşamsal risk taşımayan konularda bir miktar kalan hata maliyetinin de kabul edilebileceği düşünülmüştür.

Hataların etki maliyetlerinin belirlenmesi sırasında hataya yol açan sebebin şiddetinin ve keşfedilebilirliğinin de dikkate alınarak değerlendirmeye katılmasının etki maliyetlerinin daha gerçekçi olarak saptanmasına yardımcı olacağı açıktır. Daha sonra sözkonusu maliyetler sebebin ortaya çıkma olasılığına karşılık gelen katsayılar ile çarpılarak olası maliyetler daha gerçekçi bir şekilde çalışmaya dahil edilmiştir. Bu kısım yeni yöntemin klasik yöntemdeki RÖG hesaplaması ile bir miktar bağlantılı olmasını gerektirir ancak klasik yöntemdeki temel karar mekanizmasının RÖG ve eşik değerler olmasına karşın yeni yöntemde bu adım tamamen maliyet mukayesesi ile yapıldığı unutulmamalıdır. İki yöntem arasındaki temel ayrım buradadır. Ayrıca aynı çalışma sırasında, çözüm seçeneklerinin tahmini maliyetlerinin de ortaya konarak son karar aşamasında KV'ye yardımcı olunabileceği düşünülmüştür. Bir sonraki aşamada çözüm seçeneklerinin olumlu ve olumsuz yönlerini ortaya çıkaracak ölçütler tanımlanmıştır. Daha sonra, seçenekler bu ölçütlere göre değerlendirilmiştir. Bu çalışmaların sonrasında seçenekler, ölçütler ve değerlendirmeler içeren matrisler elde edildi. Bu noktada hangi karar verme yönteminin kullanılması gerektiği gibi önemli bir soru ile karşı karşıya kalındı. Bu soruya sağlıklı bir cevap verebilmek için karar verme konusunda detaylı bir inceleme yapıldı. Öncelikle, seçeneklerin belirli ve kısıtlı bir sayıda olması sebebiyle kesikli (discrete) bir yöntem kullanılmasının doğru olacağı saptandı.

Uygulamada kullanılacak yöntem olarak, zaman ve uygulama zorluğu yönünden çalışmanın ana önceliği olan hata türleri, etkileri, sebepleri ve çözüm önerileri tesbitinin önüne geçmemesi hedefini karşılamak üzere Basit Toplamlı Ağırlıklandırma yönteminin uygun olabileceği düşünülmüştür. Yöntem, seçenekler ve ölçütlerin sayısı oldukça artsa dahi buna karşılık vererek en uygun seçeneğin kolaylıkla elde edilmesini sağlar. Ancak uygulamalar sırasında, bazı durumlarda asıl hedeflenen ölçütte çok zayıf olan bir seçenek ön plana çıkabiliyor veya puanları birbirine çok yakın birkaç seçenek olduğunda KV'nin tereddütte kalma ihtimali var. Bu noktada, bu gibi olumsuzlukları önlemek için başka bir karar verme yöntemi uygulanarak çözümün doğrulanmasının uygun olabileceği fikri gelişti. Bu amaçla seçeneklerinin birbirlerine göre birebir üstünlüklerini veya zayıflıklarını değerlendiren üstünlük yöntemlerinden ELECTRE kullanılabildi. Aynı matrisler üzerinden ELECTRE ile yapılan değerlendirmelerde gerçekten kuşku durumların orataya çıkarılabildiği ve uygun alternatif seçeneklerin belirlenebildiği görülmüştür.

BTA ve 5. bölümde verilen koşulların karşılanamaması durumunda ELECTRE yönteminin eşzamanlı kullanımı ile KV her hata sebebi için en uygun önlemleri seçebilir. Bu çalışmanın tamamlanması ile çalışma formu bir tarafında hata türü, etkileri ve sebepleri, diğer tarafında ise bunları önlemek için alınacak en uygun önlemlerin bulunduğu oldukça informatif bir hal alır. Ayrıca her iki tarafta da maliyetler bulunmaktadır. Bu noktada, olayın bütünü için karar vermek çok kolaylaşmıştır. Yaşamsal risk taşıyan konular maliyeti ne olursa olsun ele alınmalıdır. Diğer konularda ise öncelikle hata maliyetinin ideal çözüm önleminin uygulama maliyetinin üzerinden olduğu hata sebeplerinin iyileştirilmesine odaklanılır. Bunların ötesinde pazar beklentileri, proje bütçesi, pazara çıkış zamanı gibi konular da üzerinde çalışılacak hata sebeplerinin belirlenmesinde etken olabilir.

Çalışma sırasında dikkat edilmesi gereken diğer bir önemli konu da çözüm seçeneklerinin ölçütlere göre değerlendirilmesinde kullanılacak derecelendirmenin çok bölümlü olmamasıdır. Böyle bir durumda HTEA yönteminde eleştirilen subjektiflik yeniden ön plana çıkabilir. Dolayısıyla değerlendirmelerde maliyet dışındaki konularda var/yok (1/0) veya kuvvetli/zayıf (2/1) gibi bir derecelendirme kullanılması tavsiye edilir.

Özetlenecek olursa yapılan çalışmada iki aşamalı bir karar verme modeli olması benimsenmiştir. Birinci aşamada her bir hata sebebi için olası çözümler ilgili ölçütler açısından değerlendirip ideal çözüm alternatifleri aranmıştır. İkinci aşamada ise her sebep için hatanın etkisinin olası maliyeti kalan hata maliyeti ile mukayese edilerek en fazla ekonomik etkinliği sağlayacak şekilde hata türleri sebeplerinden hareketle önceliklendirilmiştir. Ancak bu aşamada yaşamsal risk taşıdığı düşünülen hata türleri ve sebepleri öncelikli olarak ele alınmalıdır.

Bu anlatılanlara, çalışmanın 5. 6 ve 7. kısımlarında detaylı olarak yer verilmiştir. Yine 7. kısımda yeni bir elektrik motoru tasarımı yapılan uygulamanın bir kısmına yer verilmiştir. Söz konusu çalışma Almanya'nın en büyük redüktör üreticisi Flender Firması için geliştirilen yeni bir motor için ikisi Tübingen, biri İstanbul olmak üzere üç oturumda tamamlanmıştır. Aslında birinci oturum klasik HTEA yönteminin uygulanması ikinci ve üçüncü oturumlar ise yeni geliştirilen HTEÖA yöntemi ile gerçekleştirilmiş olup yeni yöntem söz konusu firma yetkililerince de kullanışlı ve yararlı bulunmuştur.

Yapılan değişikliklerle klasik HTEA yönteminde önleyicilik boyutu kuvvetlendirilmiş, karar verme aşaması maliyetler dahil edilerek daha objektif hale getirilmiş ve bütün olarak bakıldığında yöntem çok daha etkin hale gelmiştir. Bu nedenle yeni geliştirilen yöntem Hata Türü, Etki ve Önlem Analizi (HTEÖA) ismi verilmesi uygun olacaktır.

Daha önceki bölümlerden hatırlanacağı üzere, yeni yaklaşımın uygulanmasında gereken zamanın klasik yöntemle göre bir miktar daha fazla olacağı öngörülmüştü ve uygulama da bu doğrultuda sonuçlanmıştı. Ancak bu durumu iyileştirmek amacıyla oldukça basit ve kolay kullanılabilecek bir program hazırlanmıştır. Programın kullanımı ile hesaplamalar kendiliğinden yapılmakta ve oldukça önemli bir zaman kazanımı sağlanmaktadır.

Çalışmada iyileştirme yapılacak hata türlerinin seçimi için maliyet karşılaştırması önerilmiştir. Aslında, çalışma bu noktaya kadar getirildikten sonra iyileştirme yapılacak hata türlerini belirlemek etkileşim inceleme matrisinin de kullanımı ile oldukça kolaylaşmıştır ancak hala gruptaki katılımcıların tecrübelerine bağlıdır. Burada değişik hata türlerinin çözüm yaklaşımlarının birbirleri ile bir miktar etkileşim içinde oldukları da unutulmamalıdır. Bu noktada, çözüm önerilerinin diğer hata türleri üzerindeki etkilerini de dikkate alarak karar verilmesini sağlayacak yeni bir model geliştirilmesi düşünülebilir.

İlave olarak, çözüm alternatiflerinin önceliklendirilmesi sırasında kullanılan temel karar verme modeli olan BTA yönteminde yer alan puanlama sisteminin esnekliği bir miktar azaltılabileceği düşüncesinden hareketle, bu aşamada Bulanık Küme (Fuzzy) sistemlerinin alternatif karar verme yöntemi olarak kullanılması düşünülebilir.

Bu çalışma, uluslararası boyutta yaygın kullanım bulmuş bir teknik üzerinde yapılan ve uygulanabilirliği olan bir geliştirme olarak önem taşımaktadır. Çalışmada emeği ve katkısı olan herkese tekrar teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Bass, L., 1986. Products Liability: design And Manufacturing Defects. Shepard's McGraw Hill, Colorado Springs, Colorado.
- Bayraktaroğlu Ş., 1994. Metrolojide Kullanılan Temel ve Genel Terimler Sözlüğü. Ulusal Metroloji Enstitüsü Yayınları, İstanbul.
- Bell, D. E., Raiffa, H. Ve Tversky, A., 1988. Decision Making: Descriptive, Normative and Prescriptive Interactions. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bothe, K. R., 2000. The Ultimate Six Sigma. ASQ Publications, Milwaukee, Wisconsin.
- Bouyssou, D., 1990. Building Criteria: a prerequisite for MCDA, in Readings in Multiple Criteria Decision Aid. Springer Verlag, Heidelberg.
- Brownlow, S. A., ve Watson, S. R., 1987. Structuring multi-attribute value hierarchies, J. Opl res. Soc..
- Cohen, L., 1995. What is QFD. ASQ Publications, Milwaukee, Wisconsin.
- Dale, B. G. ve Shaw, P., 1990. Failure mode and effects analysis in the U.K. motor industry. A state-of-the-art study. Quality and Reliability Engineering International.
- Deere, 1990. Statistical Process Control. John Deere and Co. Publications, USA.
- Deming, W. E., 1986. Out Of Crisis. MIT Publications, Cambridge, Mass.
- Denson, W. K., 1992. The use of failure mode distributions in reliability analyses. RAC Newsletter.
- Eryürek, B., 1993. Hasar Analizi. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Evren, R. ve Ülengin, F., 1992a. Yönetimde Karar Verme. Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- Evren, R. ve Ülengin, F., 1992b. Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme. Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- Feigenbaum, A. V., 1991. Total Quality Control. McGraw Hill Publications, New York.

- Ford Motor Company**, 1992. FMEA Handbook. Ford Motor Company, Engineering Materials and Standards, Dearborn, Michigan.
- General Motors**, 1998. FMEA Reference Manual. General Motors Corporation, Detroit, Michigan.
- Gilchrist, W.**, 1993. Modelling failure modes and effect analysis. International Journal of Quality and Reliability Management, Vol 10, ASQ Publications, Milwaukee, Wisconsin.
- Grant, L. E. ve Leavenworth R.**, 1996. Statistical Quality Control. Prentice Hall Publications, New York.
- Griffith, G. K.**, 2000. The Quality Technicians Handbook. Prentice Hall Publications, New York.
- Halder, E.**, 1997. Six Sigma Training Manual. Arçelik Eğitim Notları, Istanbul.
- Hardjono, T. W., Have, S., Have, W. D.**, 1999. The European Way to Excellence. EFQM Publications, Brussels.
- Hammond, J. S., Keeney, R. L. ve Raiffa, H.**, 1999. Smart Choices. Harvard Business School Press, Boston.
- Huang, G. Q., Nie, M., Mak, K. L.**, 1999. Web-based failure mode and effect analysis. Proceedings of the 24th International Conference on Computers and Industrial Engineering, Middlesex.
- Hunt, J. E., Price, C. J., Lee, M. H.**, 1993. Automating the FMEA process. Intelligent Systems Engineering, Aberystwyth.
- Ishikawa, K.**, 1999. Toplam Kalite Kontrol. Kalder Yayınları, Istanbul.
- Jones, J. E.**, 1980. Dealing with disruptive individuals in meetings. The 1980 annual handbook for group facilitators, San Diego University Associates.
- Juran, J. M.**, 1999. Juran's Quality Handbook. McGraw Hill Publications, New York.
- Juran, J. M., ve Gryna, F. M.**, 1980. Quality Planning and Analysis. McGraw Hill Publications, New York.
- Kara-Zaitri, C. ve Fleming, P. V.**, 1992. A smart failure mode and effect analysis package. Proceedings of the 1992 Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE, Piscataway, NJ.
- Kara-Zaitri, C. ve Fleming, P. V.**, 1997. Applications of fuzzy inference methods to failure modes effects and criticality analysis. International Conference on Safety and Reliability, IEEE, Piscataway, NJ.

- Kirkwood, C. W.**, 1997. *Strategic Decision Making: Multiobjective decision Analysis with Spreadsheets*. Duxbury Press, Wadsworth Publications Co., Belmont.
- Kleindorfer, P. R., Kunreuther, H. C. and Schomaker, P. J. H.**, 1993. *Decision Sciences*. Cambridge University Press, Oakleigh.
- Kogem, 1993.** Koç 2000 Eğitim Notları. Koç Holding Eğitim ve Geliştirme Merkezi, Istanbul.
- Kogem, 1995.** FMEA Eğitim Notları. Koç Holding Eğitim ve Geliştirme Merkezi, Istanbul.
- Liebowitz, J.**, 1990. *The Dynamics of Decision Support Systems and Expert Systems*. Dryden Press, Chicago.
- Montgomery, T. A., Pugh, R. D., Leedham, S. T.**, 1996. FMEA automation for the complete design process. *Proceedings of the 1996 Annual Reliability and Maintainability, IEEE*, Piscataway, NJ.
- Montgomery, T. A., Marko. K. A.**, 1997. *Quantitative FMEA Automation. Proceedings of the 1997 Annual Reliability and Maintainability Symposium. IEEE*, Piscataway, NJ.
- Philip, B. C.**, 1980. *Quality Is Free*. Mentor Publications, New York.
- Price, C. J., Taylor, N. S.**, 2002. *Automated multiple failure FMEA. Reliability Engineering and System Safety*, Elsevier Science Ltd, UK.
- Revelle, J. B., Moran J. W., Cox, C. A.**, 1998. *The QFD Handbook*. John Wiley and Sons, Inc., New York
- Russomanno, D. J., Bonnell, R. D., Bowles, J. B.**, 1992. A blackboard model of an expert system for failure mode and effects analysis, *Proceedings of the 1992 Annual Reliability and Maintainability Symposium. IEEE*, Piscataway, NJ.
- Saaty, T. L.**, 1989. *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarch Process*. RWS Publications, Pittsburg.
- Shewhart A. W.**, 1975. *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. Mc. Graw Hill Publications, New York.
- Signor, M. C.**, 2002. *The failure-analysis matrix: A kinder, gentler alternative to FMEA for information systems. The International Symposium on Product Quality and Integrity*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Seattle.
- Stamatis, D. H.**, 1995. *FMEA From Theory to Execution*. ASQ Publications, Milwaukee, Wisconsin.

- Stewart, T. J.**, 1992. A Critical Survey On The Status of MCDM theory and Practice. Omega.
- Taguchi, G.**, 1973. Introduction to Offline Quality Control. McGraw Hill Publications. New York.
- Topçu, Y. İ.**, 2000. Çok Ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Yeni Bir Bütünleşik Karar Destek Modeli. Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vincke, Ph.**, 1992. Multi Criteria Decision Aid. John Wiley & Sons, Inc., West Sussex.
- Vokurka, J. V., Stading, G. L., Brazeal, J.**, 2000. A Comparative analysis of national and regional Quality Awards, Quality Progress **33/8** 41-49.
- Votter, M., Masshour, T.**, 1996. New approach to the use of FMEA. Konstruktion Organ Der VDI Gesellschaft Konstruktion und Entwicklung, Springer-Verlag GmbH & Company KG, Berlin,
- White, C. C.**, 1990. A survey on the inetgration of decision analysis and expert systems for decison support., IEEE Transactions on Smc, 20/2.
- Yazgaç, E.**, 1993. Toplam Kalite. Koç Holding Malzeme ve İkmal Koordinatörlüğü, İstanbul.
- Yazgaç, E.**, 1996. Proses Yönetiminde İstatistiksel Yaklaşımlar. Koç Holding Malzeme ve İkmal Koordinatörlüğü, İstanbul.

Ek Tablo A1 Hata Türü Etki ve Önlem Analizi Tablosu (Toplam 3 sayfa)

HATA TÜRÜ ve ETKİ VE ÖNLEM ANALİZİ											
Hata Türü	Hatanın Etkisi	Başlangıç Etki Maliyeti	Sebebi	Sebebin Olasılığı	Olası Maliyet	Önlem 1	Önlem 2	Önlem 3	Önlem 4	Sonuç/Hata Maliyeti	
Pinyon dişlinin yerinden çıkması	Yükün boğalması	Hayati risk Herbir vaka için 250.000 € tazminat	Delik gapının büyük olması	0.2	50.000 €	Yeni Makina yat. 150.000 € ilave enspektör.	%100 Kontrol 2 Robotlu ölçme sistemi. 100.000€	Raybarın 200 parçada bir değiştirilmesi.	0		
Milin kırılması	Yükün boğalması	Hayati risk Herbir vaka için 250.000 € tazminat	Ölçütler	Maliyet	15.000 €/yıl	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek		
				Onleyicilik							
				Verim							
				Üretim Sürd.							
Yükün moment yetersizliği	Yükün kaldırılamaması	Motorların %5'inin iadesi 50.000 €/yıl	Ölçütler	Maliyet	20.000 €/yıl	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek		
				Onleyicilik							
				Verim							
				Üretim Sürd.							
Kalkış momenti yetersizliği	Yükün moment yetersizliği	Sargı dizaynının yetersizliği 0.2	Ölçütler	Maliyet	10.000 €/yıl	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek		
				Onleyicilik							
				Verim							
				Üretim Sürd.							

Kalkış momenti yetersizliği (devam)	Yükün kaldırılmasını	Müşteride rahatsızlık	Müşterilerin %2'sinin 25.000 €/yıl	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Yetersizliği yetersizliği	Yükün kaldırılmasını	Müşteride rahatsızlık	Müşterilerin %2'sinin 50.000 €/yıl	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Sargı dizaynının yetersizliği	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Tel miktarının %5 arttırılması	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Laminasyon paket boyunun %5 arttırılması	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Yüksek verimli laminasyon sacı kullanımı	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Stator içi mikroler hava aralığının Stator içi rayba ile yetersizliği	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Hava aralığının yetersizliği	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Rotor tornanın arttırılması ile hava aralığının büyütülmesi	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Tezgah yatırım %100 Ölçme ve %2 Tezgah ve tutma aparatharının iyileştirilmesi	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Motorların %5'inin iadesi	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0
Motorların %2'sinin iadesi. 20.000 €/yıl	0.2	10.000 €	0.2	Ölçütler Maliyet Onleyicilik Verim Üretim Sürd.	0	0	0

[illegible]

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Faruk Eryürek, 1965 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini Usküdar İcadiye İlkokulu'nda tamamladıktan sonra 1976-1983 yılları arasında orta öğrenimini Kadıköy Anadolu Lisesi'nde sürdürdü. 1983 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinde öğrenim görmeye hak kazanarak Lisans Eğitimini burada 1988 yılında tamamladı. Aynı yıl, aynı fakültenin Konstrüksiyon ve İmalat Bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Aynı dönemde İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü gece bölümünde İşletmecilik İhtisas Programına devam etti. İşletme Yüksek Lisansını 1989 yılında, Makina Yüksek Lisansını ise 1990 yılında bitirdi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsündeki Doktora çalışması 1990 yılında başlamış olup halen devam etmektedir.

İş yaşantısına ise 1989 yılında Kalekalıp A.Ş.'de Proje Mühendisi olarak başlamış ve 1990 yılı Nisan ayına kadar bu firmada Stinger Projesi Sorumlu Mühendisi olarak devam etmiştir. 1990 yılında askerlik görevi için firmadan ayrılan Eryürek onaltı aylık askerlik hizmetinin ardından 1991 yılı Ekim'inde Koç Grubu şirketlerinden (o zamanki adı ile Türk Elektrik Endüstrisi A.Ş.) temel konusu elektrik motoru üretimi olan bir firmada iş yaşantısına devam etmiştir. Türk Elektrik Endüstrisi A.Ş. Merkez Kalite Güvence Bölümünde Kalite Mühendisi olarak 10 ay çalışan Eryürek, 1992 yılında Kalite Güvence Şefliğine atanmış ve daha sonra 1996 yılında temel konusu endüstriyel elektrik motoru üretimi olan Sutam İşletmesine geçmiştir. 1992-1996 yılları arasında daha çok kalite sistemleri üzerine çalışmış olup bu dönemde firmanın üç işletmesinin ISO 9001 belgesi için hazırlanması sürecinde temel sorumlu olarak görev almış ve işletmelerin Türkiye'deki ilk 50 belgeli kuruluş içinde yer almasını sağlamıştır. Ayrıca 1993-1998 yılları arasındaki beş yıllık dönemde Toplam Kalite konusundaki çalışmalarını yoğunlaştırmış ve firmasının KalDer ve EFQM İş Mükemmelliği modellerine göre yapılanmasını sağlayarak 1998 yılında KalDer Başarı Ödülü ve EFQM Finalistliği başarılarında önemli rol üstlenmiştir. Bu çalışmalara ilave olarak 1993-1996 yılları arasında Koç Holding Eğitim ve Geliştirme Merkezinde ISO 9001, Kalibrasyon ve Toplam Kalite

konularında Koç Grubu şirketleri ve Yardımcı Sanayilerinden 1000'in üzerinde katılımcıya Uzman Eğitimci olarak eğitim vermiş ve böylelikle ülkemizde Kalite Bilincinin yükselmesine destek olmuştur.

Ayrıca 1997 ve 1998 yıllarında Türkiye Kalite Ödülü sürecinde Değerlendirici olarak yer alarak KalDer'den Ulusal Kalite Bilincine Katkı nedeniyle Teşekkür Beratı almıştır.

1997 yılı başından bu yana aynı işletmede Kalite Yöneticisi olarak çalışmaktadır. Ancak 1999 yılının sonunda firmanın zaten hisselerinin tümüne sahip olan Arçelik ile birleşmesi ile işletmenin ismi Arçelik Çok Amaçlı Motor İşletmesi olarak değişmiştir. İşletme WAT ve TEE markalarıyla yılda yaklaşık 500.000 adet çok amaçlı trifaze ve monofaze elektrik motoru üretimi yapıp bunun %65 ini başta Batı Avrupa pazarları olmak üzere ihraç etmektedir. Müşteri portföyündeki Avrupa'da konusunda lider WILO, Flender, Salmson, Elsto, ITT gibi firmalar için üretim yapmanın yanısıra, ayrıca elektrik motorunda dünya devi olan ABB firmasına yılda yaklaşık 150.000 adet fason motor üretimi gerçekleştirilmektedir. Ömer Faruk Eryürek kendi işletmesindeki sorumlulukların yanısıra, Arçelik Kalite Süreç Takımının bir üyesi olarak yedi işletme ve merkez birimlerine yönelik Kuruluş İçi Kalite ve Çevre Denetimleri ile Özdeğerlendirme çalışmalarında Baş Denetçi olarak görev almakta, yurtiçi ve yurtdışı yardımcı sanayi firmalarının denetimlerinde aktif olarak katılmaktadır. Bundan sonraki yaşantısında da hem profesyonel hem de fahri olarak Ulusal Kalite Bilincinin artırılmasına yönelik, Türk insanı ve firmalarının uluslararası arenadaki başarısı için yapılan çalışmalarda her konuda görev almayı hedeflemektedir.

Ömer Faruk Eryürek, Kalid (Kadıköy Anadolu Liseliler Derneği), İMED (İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Mezunlar Derneği, İTÜ Mezunlar Derneği, Mezunlar Kulübü ve KalDer üyesidir.