

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ YÖNTEMİNE GİRİ**  
**TEORİ YAKLAŞIMININ UYGULANMASI**

**BALKIR AKPINAR**

**KOCAELİ 2015**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ YÖNTEMİNE GRİ  
TEORİ YAKLAŞIMININ UYGULANMASI**

**BALKIR AKPINAR**

**Yrd.Doç.Dr. Kasım BAYNAL**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Prof.Dr. Zerrin ALADAĞ**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

**Doç.Dr. Semra BORAN**  
**Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 20.02.2015**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Ülkemizdeki sürekli gelişmekte, ürün kalitesi sürekli artırmakta olan sektörlerin başında gelen otomotiv sektörünün, hatlarında karşılaşılan problemlerin çözümü, gelişmiş ülkelerin standartlarında üretim yapabilmek açısından önemli boyuttadır. Bu noktada problemleri doğru analiz edebilme, doğru problemlere yönelme açısından önemlidir.

Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemine Gri Teori Yaklaşımının Uygulanması konusunda bana çalışma fırsatı veren değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Kasım BAYNAL'a teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen aileme de sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Mart - 2015

Balkır AKPINAR

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT .....	ix
GİRİŞ .....	1
1. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA).....	2
1.1. HTEA Tekniği .....	2
1.1.1.HTEA'nın tarihi ve günümüz endüstrisindeki yeri.....	4
1.1.2.Hata türleri ve etkileri analizinin amaçları.....	5
1.1.3.Hata türleri ve etkileri analizinin sağladığı faydalar .....	5
1.1.4.HTEA'nın diğer kalite teknikleri ile ilişkisi .....	7
1.1.5.HTEA ile ilgili kavramlar .....	8
1.2. HTEA Çeşitleri .....	11
1.2.1.Sistem HTEA .....	12
1.2.2.Tasarım HTEA .....	12
1.2.3.Proses HTEA.....	14
1.2.4.Servis HTEA .....	15
1.2.5.Hata türü, etkileri ve kritiklik analizi .....	15
1.3. HTEA Yöntemi .....	16
1.3.1.Başlangıç çalışmaları .....	20
1.3.1.1. HTEA kapsamının belirlenmesi.....	20
1.3.1.2. HTEA takımının kurulması.....	21
1.3.1.3. HTEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin incelenmesi.....	21
1.3.2.HTEA yapılan sistem, tasarım, proses veya serviste yer alan hatalara yönelik çalışmalar .....	22
1.3.2.1. Olası hata türlerinin belirlenmesi.....	22
1.3.2.2. Olası hata etkilerinin belirlenmesi .....	24
1.3.2.3. Olası hata nedenlerinin belirlenmesi.....	25
1.3.2.4. Mevcut kontrollerin belirlenmesi.....	26
1.3.3.Hata türlerinin değerlendirilmesi .....	27
1.3.3.1. Oluşum sıklığı değerlerinin belirlenmesi.....	28
1.3.3.2. Ciddiyet değerlerinin belirlenmesi.....	30
1.3.3.3. Tespit edilebilirlik değerinin belirlenmesi .....	32
1.3.3.4. Risk öncelik sayısının hesaplanması.....	32
1.3.3.5. HTEA formu .....	33
1.3.4.Risk öncelik sayısının değerlendirilmesi .....	35
1.3.4.1. Önlem alınacak hata türlerinin belirlenmesi .....	35
1.3.4.2. Alınacak önlemlerin belirlenmesi .....	36

1.3.4.3. Önlemlerin uygulanması .....	37
1.4. HTEA'nın Amaçları, Faydaları ve Güçlükleri .....	37
1.4.1. HTEA'nın amaçları ve faydaları .....	37
1.4.2. HTEA uygulamalarındaki güçlükler .....	39
1.5. HTEA Uygulama Örneği .....	40
1.5.1. Amaç .....	42
1.5.2. Kapsam .....	42
1.5.3. İlgili dokümanlar .....	42
1.5.4. Uygulama .....	42
2. HTEA UYGULAMASINDA KULLANILAN DEĞİŞİK YÖNTEMLER .....	48
2.1. Bulanık Kural Tabanı Yaklaşımı .....	49
2.2. Bulanık Üyelik Fonksiyonu .....	49
2.3. Bulanık Esaslı Kuralların Geliştirilmesi .....	51
2.4. Risk Önceliği Sıralaması .....	52
2.5. Karşılaştırmalı ve Standart Seriler .....	53
2.5.1. Karşılaştırmalı seriler .....	53
2.5.2. Standart seriler .....	54
2.5.3. Fark .....	54
3. GRİ SİSTEM TEORİSİ VE GRİ İLİŞKİ ANALİZİ .....	55
3.1. Gri Teori Yaklaşımı .....	56
3.2. Gri İlişki Katsayısı .....	58
3.3. Gri İlişki .....	59
3.4. Gri İlişkisel Analiz Metodu .....	60
4. HTEA İLE GRİ SİSTEMİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ .....	63
4.1. Standart (Referans) Serilerinin Belirlenmesi .....	63
4.2. Karşılaştırmalı Serilerin Saptanması .....	63
4.3. Karşılaştırmalı Seriler ve Standart Seriler Arasındaki Farklılığın Elde Edilmesi ve Katsayı Değerinin Hesaplanması .....	64
4.4. Gri İlişki Derecesinin Belirlenmesi .....	64
4.5. Risk Önceliğinin Sıralanması .....	65
5. UYGULAMA .....	66
5.1. Firma Tanıtımı .....	67
5.2. Problemlerin Tanımı .....	69
5.3. Oluşum, Tespit Edilebilirlik, Ciddiyet (OTC) Hesaplanması .....	71
5.3.1. Oluşum sıklığı (O) hesaplama .....	71
5.3.2. Tespit edilebilirlik (T) hesaplama .....	72
5.3.3. Ciddiyet (C) hesaplama .....	73
5.3.4. RÖS hesaplama .....	75
5.4. Gri İlişki Katsayısı Hesaplama .....	76
5.4.1. Fark matrisi hesaplama .....	76
5.4.2. Gri ilişki katsayıları hesaplama .....	77
5.4.3. Gri RÖS hesaplama .....	77
5.4.4. Gri RÖS'e göre sıralama hesaplama .....	78
5.5. Önceliklendirme Sonuçlarına Göre Yapılan İyileştirme Faaliyetleri .....	79
5.5.1. Basamak montajı sebepli fitil yırtıklarının çözümü .....	79
5.5.2. IP montajı sebepli fitil yırtıklarının çözümü .....	80
5.5.3. Cam mekanizması delik konumu sebepli kapı camı gürültü probleminin çözümü .....	81
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....	83

KAYNAKLAR .....	85
ÖZGEÇMİŞ .....	88

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. HTEA süreci .....	19
Şekil 1.2. HTEA formu örneği.....	35
Şekil 2.1. Bulanık kural tabanı yaklaşımının akış diyagramı .....	50
Şekil 2.2. Dilsel terimlerin üyelik fonksiyonu.....	51
Şekil 3.1. Gri teori yaklaşımı akış diyagramı .....	57
Şekil 3.2. Dilsel değişken orta (moderate)'nın durulaştırılması .....	58
Şekil 5.1. V34X (Transit) montaj hattı krokisi .....	69
Şekil 5.2. QLS çıktısı örneği.....	70
Şekil 5.3. Mıknatıslı fitil koruyucu (basamak montajı).....	80
Şekil 5.4. Mıknatıslı fitil koruyucu (IP montajı) .....	81
Şekil 5.5. Mekanizma demiri delik konumu.....	82

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Tasarım ve proses HTEA' da değerlendirme için kullanılacak yöntemlerin seçim kriterleri .....	28
Tablo 1.2. Oluşum sıklığı derecelendirme tablosu.....	29
Tablo 1.3. Ciddiyet derecelendirme tablosu .....	31
Tablo 1.4. Tespit edilebilirlik derecelendirme tablosu.....	32
Tablo 1.5. Hataların müşteriye yansması.....	45
Tablo 1.6. Hata olasılık matrisi .....	45
Tablo 1.7. Hata yansına olasılığı derece matrisi .....	46
Tablo 1.8. Hata saptama matrisi.....	46
Tablo 2.1. Dilsel terimlerin yorumları .....	51
Tablo 2.2. Hata türlerinin tanımlayıcı bilgileri .....	53
Tablo 3.1. Deterministik olmayan yöntemlerin karşılaştırılması.....	56
Tablo 3.2. Gri ilişki katsayı tablosu .....	59
Tablo 5.1. Problem ve tespit noktası adetleri QLS çıktısı.....	70
Tablo 5.2. QLS pareto verilerine göre "O (oluşum sıklığı)" değerinin hesaplanması .....	72
Tablo 5.3. QLS pareto verilerine göre "T (tespit edilebilirlik)" değeri ağırlıklandırma .....	73
Tablo 5.4. QLS pareto verilerine göre "T (tespit edilebilirlik)" değerinin hesaplanması .....	73
Tablo 5.5. Ciddiyet hesaplama için kullanılan hata artış matrisi .....	74
Tablo 5.6. QLS pareto verilerine göre "C (ciddiyet)" değerinin hesaplanması .....	75
Tablo 5.7. Hesaplanan RÖS değerleri.....	76
Tablo 5.8. Risk faktörlerinin önem düzeyi ağırlıklandırılması.....	78
Tablo 5.9. Klasik HTEA ile gri ilişki analizi kıyaslama.....	79



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\Delta$	: Simetrik Fark (Delta)
$\gamma$	: Gri İlişki Derecesi (Gama)
$\zeta$	: Gri İlişki Katsayısı
$\tau$	: Gri Ağırlık Katsayısı
$\varepsilon$	: Gri İlişkisel Katsayı

### Kısaltmalar

CAL	: Customer Audit Line (Müşteri Gözü ile Kalite Kontrol Hattı)
FCPA	: Ford Consumer Product Audit (Ford Müşteri Ürün Kontrol)
FMEA	: Failure Mode and Effects Analysis (Hata Türleri ve Etkileri Analizi)
FMECA	: Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi
FTA	: Fault Tree Analysis (Hata Ağacı Analizi)
FTT	: First Time Through (İlk Seferde Geçiş)
HTEA	: Hata Türleri ve Etkileri Analizi
OTC	: Olasılık, Tespit Edilebilirlik, Ciddiyet
QLS	: Quality Leadership System (Kalite Pareto Programı)
RPN	: Risk Priority Number (Risk Öncelik Sayısı)

## HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ YÖNTEMİNE GRİ TEORİ YAKLAŞIMININ UYGULANMASI

### ÖZET

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) bir ürün ve/veya prosesin varolan ve/veya potansiyel hatalarını ve bunların sonucu ortaya çıkabilecek etkilerini tanımlamak, değerlendirmek, sözkonusu hataların ortaya çıkmasını önleyecek faaliyetleri belirlemek için kullanılan bir mühendislik yaklaşımıdır. Geleneksel HTEA kullanılarak riskler tamamen farklı olmasına rağmen aynı Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değerleri elde edilebilir. Bu durumda; sistem için çok önemli bir hata türünü ihmal ederek kaynak ve zaman israfına neden olunabilir. Bir diğer eksiklik ise Geleneksel HTEA'nın, şiddet, olasılık ve saptanabilirlik faktörleri arasındaki göreceli ilişkiyi ihmal edip bunların aynı öneme sahip olduğu varsayılarak hareket edilmesidir. Geleneksel HTEA'nın bu eksikliklerini ortadan kaldırmak için farklı bir yaklaşım önerilebilir. Bu yaklaşımda bulanık kurallar kullanılarak özellikle de farklı risklere sahip olmalarına rağmen aynı RÖS değerlerine sahip hata türleri sıralanabilir. Daha sonra analiz genişletilerek şiddet, olasılık ve saptanabilirlik faktörlerine ağırlıklar verilerek durulaştırıcı dilsel terimler ve gri ilişkiler analizi kullanılır. Gri teori; sistem davranışlarını, ilişkiler analizini ve modellemeyi kullanarak tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca yeterli olmayan bilgilerden yararlanarak karar verme süreciyle de ilgilenir. Bu çalışmada üretimde ortaya çıkan proses kalite hatalarının gri teori yaklaşımı ile öncelikleri belirlenerek HTEA ile ortadan kaldırılması veya minimize edilmesi hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gri İlişki Analizi, Gri Teori, HTEA, Proses Kalite Hataları, Risk Öncelik Sayısı.

## **GREY THEORY APPROACH IMPLEMENTATION TO FAILURE MODES AND EFFECT ANALYSIS**

### **ABSTRACT**

Failure Mode and Effects Analysis is a documentation method to clarify, investigate, evaluate and prevent potential failures and effects of product or process. However, all risk are different, same RPN value may be Calculated with using traditional FMEA. In these situations, system may leave out important failure mode and therefore we may faced with time and money loss. On the other hand, another lackness of traditional FMEA is ignoring connection between probability, severity and detection and accepts all factors are same. To prevent all lackness of traditional FMEA, any approach shall be offered. In this approach a sequence between failures with implementing fuzzy rules to failure modes especially that have different risks but have same RPN values. After that, analysis will be extend with giving weight to probability, severity and detection values with linguistic terms and grey analysis. Grey Theory aims forecast with using system behaviors, relationship analysis and modelling. Addition of this, Grey Theory aims deciding process with taking benefits of insufficient informations. In this project, in production, reducing failures, clarifying priority of process quality failures with grey theory approach and studying with FMEA, was targeted.

**Keywords:** Grey Relationship Analysis, Grey Theory, FMEA, Process Quality Failures, Risk Priority Number.

## **GİRİŞ**

Hata türü ve etkileri analizi, 1950'li yıllardan itibaren kullanılan, modern endüstrinin tüm alanlarda uyguladığı hata önlemeye ve gidermeye yönelik yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde bu konu ile ilgili sayısız çalışma ve bunlara bağlı uygulamalar bulunmaktadır. Endüstrinin her geçen zaman gelişip yenilenmesi ile birlikte, bu yönteme ek olarak, hata türü ve etkileri analizi yöntemini geliştirmeye yönelik bulanık mantık ile bütünleştirme çalışmaları başlamıştır. Bulanık mantıkla bütünleştirme çalışmalarının hedefi, hata türü ve etkileri analizinin, riskler tamamen farklı olmasına rağmen aynı RÖS değerleri elde edilmesinden kaynaklanan zaman ve para israfının önlenerek, hata türü ve etkileri analizinin sürekli eleştirilen bu yönünü ortadan kaldırmaktır. Bu çalışmada seri üretim hattına sahip olan otomotiv fabrikası montaj hattında karşılaşılan kalite problemlerini gidermek için öncelikli olarak hata türü ve etkileri analizi çalışması yapılmış, daha sonra gri teori yaklaşımı kullanılarak, çıkan sonuçlar kıyaslanmış, problemin çözümüne yönelik aksiyonlar alınmıştır.

## **1. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA)**

### **1.1. HTEA Tekniği**

Yeni bir ürünün piyasaya sürülmeden önce tasarım, üretim öncesi planlama, üretim, paketlenme, sevkiyat ve müşteriye sunum aşamalarında birçok sorun ile karşılaşılır. Bu sorunların ürün müşteriye ulaşmadan önce ilgili süreçlerde fark edilip çözümlenmesi işletme açısından büyük önem taşımaktadır. Kimi hatalar kolaylıkla belirlenebilirken kimileri gizli kalmaktadır. Bu gizli kalan hatalar ancak süreci iyi takip ederek, değerlendirerek ve çeşitli kalite yönetim teknikleri kullanılarak yoğun bir çalışma sonucu ortaya çıkartılabilir. İlgili süreç içinde ürün ile ilgili herhangi bir soruna neden olacak unsurları belirleme aşamasında kullanılan en etkin yöntemlerden bir tanesi Hata türü ve etkileri analizi tekniğidir. HTEA'yı tanımlamadan önce bu tekniğin kullanım nedenleri olan hata ve potansiyel hataları tanımlamak gerekir. Girdi, üretim süreci ve çıktıda ürün ve hizmet kalitesini etkileyen makine, metot, malzeme ve insan unsurlarından biri veya birkaçında beliren şartların, özelliklerin, standartların dışına çıkma durumuna hata denir. Potansiyel hata, ele alınan ürün üzerinde oluşması muhtemel olan hatalar kümesidir. Uygulamada hatanın oluşabileceği varsayımından hareket edilir, ancak bu hatanın oluşması şart değildir. Aşağıda çeşitli kaynaklarda yer alan HTEA tanımları yer almaktadır (Down ve diğerleri, 2008);

HTEA, ürün veya süreç geliştirme çalışmalarında doğabilecek potansiyel problemleri belirlemek için kullanılan analitik bir metodolojidir. Çapraz fonksiyonel takımlar tarafından toplanan bilgilerin en açık dokümantasyonudur (Down ve diğerleri, 2008).

HTEA, oluşabilecek potansiyel hataları yönlendirilerek kök sebepleri bulup yok etmek için kullanılan bir tekniktir. Ürünün ya da sürecin müşteriye ulaşmadan önceki kısmında uygulanır. Sistem analizi yaparak ve geçmiş verileri toplayarak üretim çevriminin operasyonel performansını geliştirir, risk seviyesini düşürür (Scipioni ve diğerleri, 2002).

HTEA, potansiyel hataları belirlemek adına ürün tasarımını ya da tasarım sonrası süreçlerin analizi için kullanılan bir sistemdir. HTEA süreci hata türlerini, ürün, hizmet ya da süreç yollarını belirlemek ile başlar. Proje takımı girdilerden müşteriye ulaşan çıktıya kadar her elementi inceler ve her adımda “Burada nasıl bir hata oluşabilir?” sorusunu sorar (Williams, 2008).

HTEA, süreçlerin ve ürünlerin incelenip hatalar oluşmadan önce önlenmesi için kullanılan bir proaktif araç, teknik ve kalite metodudur. Altı Sigma metodolojisi içinde HTEA, bir süreç geliştirmeden ya da yeni bir hizmet sunmadan önce endişeleri yok etmeye yardımcı olur. Sürece hataların oluşabileceği şekilde bakıp, değerlendirilerek, tespit edilen tüm hataları yok etmek ve süreci tekrar yapılandırmak için sistematik bir yoldur. Müşteri memnuniyetini ve güvenlik seviyelerini destekler (Smith, 2008).

Hata Türü ve Etkileri Analizi, yüzlerce hata türü için iyileştirme yapılmasının planlanması yerine, sistemin bütünü üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendiren bir yöntemdir. Ancak yüzlerce hata türü için, veri derleme ve analizi de büyük zaman ve işgücü gerektirmektedir. HTEA'nın başlangıcında ön eleme yapmak ve sadece önemli olarak belirlenen parçalar için veri derlemek, HTEA'nın etkinliğini artıracaktır. Tasarım aşamasında pek çok parça için HTEA yapılmasına ihtiyaç duyulabileceğinden önerilen model, ürün planlama ve planlama süresini de kısaltmış olacaktır (Musubeyli, 2004).

Hata Türü ve Etki Analizi, riskleri tahmin ederek hataları önlemeye yönelik bir analiz tekniğidir. Hatanın ortaya çıkması ile doğacak problemin müşteri gibi algılanması ilkesine dayanmaktadır. Hata Türü ve Etki Analizi çalışmasında belirlenen bütün hatalar için olasılık, şiddet ve saptanabilirlik tahmini yapılmaktadır (Akın, 1998).

HTEA sürekli iyileştirmenin ve risk yönetiminin bir bölümüdür. HTEA ürün ve süreç geliştirmenin anahtar kısmıdır. Ürün ve süreç geliştirmenin bütününde potansiyel hataları değerlendirmeyi ve riski azaltacak uygulamaları gerçekleştirmeyi sağlamak için kullanılan uzun süreli bir çalışmadır. HTEA şunları göstermek için kullanılan genel bir yaklaşımdır (Down ve diğerleri, 2008);

- Beklentileri karşılamak için potansiyel ürün ve süreç hataları,
- Potansiyel sonuçlar,
- Hata türlerinin potansiyel sebepleri,
- Sürekli kontrol uygulaması,
- Risk seviyesi,
- Riski azaltma.

#### **1.1.1. HTEA'nın tarihi ve günümüz endüstrisindeki yeri**

HTEA'nın tarihi İkinci Dünya Savaşı yıllarına kadar dayanmaktadır. İlk kez Amerika'da uygulanmıştır. Sistem ve ekipmanlarda doğacak sorunların değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Teknik, Amerikan ordusu tarafından 1949 yılında kullanılmaya başlanmıştır (Welborn ve diğerleri, 2009). "Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis" adı ile prosedürlerin yer aldığı bir standart yayınlanmıştır. Bu standarda göz atıldığında tekniğin tanımı, kullanılan terimlerin açıklamaları ve uygulamada kullanılacak gerekliliklerin (uygulama prosedürü) yer aldığı görülür. Tasarım HTEA üzerinde durulmuştur. Amerikan ordusu bu standardı 1965'te roket ve havacılık alanında uygulamaya başlamıştır. Hâlihazırda Amerikan ordusunun MIL – STD 1629A kodlu askeri standardı olarak kullanılmaktadır. Amerikan ordusundan sonra NASA tarafından 1960'lı yıllarda kullanılmıştır. 1975'te nükleer teknoloji alanında uygulanmıştır. 1978'e gelindiğinde Ford Motor Şirketi tarafından otomotiv sektöründe uygulamaya konulmuştur. 1980'de Almanya'da standartlaştırılmış ve kullanım kılavuzu niteliğinde yayınlanmıştır. 1986'da otomotiv sektöründe Chrysler, Ford, General Motors gibi firmalar ile geniş uygulama alanı bulmuştur. 1990'larda ise elektronik ve bilgisayar sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. Otomotiv Endüstrisi Eylem Grubu (Automotive Industry Action Group) ve Amerikan Kalite Kontrol Topluluğu (American Society for Quality Control) tarafından 1993'te endüstri geneli için

HTEA standardı yayınlamıştır (Sellappan ve diğerleri, 2008). Günümüzde genel olarak otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Metal sanayinde de geniş kullanım alanına sahiptir. 1950'lerde yaratılan ve geliştirilerek günümüze kadar gelen bu teknik, uygulanabilirliği bakımından birçok sektörde kullanım şansı bulmaktadır.

### **1.1.2. Hata türleri ve etkileri analizinin amaçları**

Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) öncelikli olarak ürün ve süreç geliştirme üzerine eğilen, disiplinli bir tasarım gözden geçirmedir. HTEA tekniğinin öncelikli amaçları şunlardır;

- Ürün veya süreçte oluşabilecek potansiyel hataları önceden belirleyerek bu hataların oluşmasını engellemek.
- Nihai ürünün müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşıladığından emin olmak için, planlanan imalat ve montaj süreçleriyle bağıntılı olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini analiz etmek.
- Potansiyel hata türleri belirlendiğinde, onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemleri almak veya sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyellerini azaltmak.
- Montaj veya imalat süreci için, sistemin dayandığı neden ve ilkeleri de yazılı hale getirmek.
- Titizlikle uygulandığı durumlarda, bir HTEA; süreç geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerini (deneyim ve geçmişteki problemlere dayanarak, mantık örgüsü içerisinde yalnız gidebilecek her birimin analizini içeren) özetlemek.

### **1.1.3. Hata türleri ve etkileri analizinin sağladığı faydalar**

HTEA ile elde edilen bilgiler tasarımda, üretim sürecinde değişiklikler yapma, kullanılan malzemeyi değiştirme, kalite kontrol ve kalite muayene ölçütlerini tekrar gözden geçirme gibi kararların verilmesinde kullanıldığından, yöntem karar verme aracı olarak da değerlendirilir. HTEA aşağıdaki fonksiyonların gerçekleştirilmesini sağlar (Boyacıoğlu, 1998);



- Ürün, süreç ya da hizmette hataların oluşturacağı en küçük bir zararın bile oluşumunun engellenmesini sağlamak için hata türlerini sistematik olarak gözden geçirir,
- Ürün, süreç, hizmeti ya da bunların fonksiyonelliğini etkileyebilecek her türlü hatayı ve bu hatanın etkilerini tanımlar,
- Tanımlanan bu hatalardan hangilerinin ürün, süreç ya da hizmet operasyonlarında daha kritik etkilerinin olduğunu belirler, bu yüzden meydana gelebilecek en büyük hasarı ve hangi hata türünün bu hasarı üretebileceğini tanımlar,
- Montajda, montaj öncesinde, üründe ve süreçte hataların oluşum olasılığını ve bunun nereden kaynaklanabileceğini (tasarım, süreç, vb.) belirler,
- Diğer kaynaklardan elde edilmesi mümkün olmayan hata oranlarını ve türlerini tanımlayarak gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlar,
- Güvenilirliğin deneysel olarak test edilebilmesi için gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlar,
- Bir ürün için değişikliklerin olabilecek etkilerini tanımlar,
- Yüksek riskli bileşenlerin nasıl güvenilir hale getirilebileceğini tanımlar,
- Montaj hatalarının olabilecek kötü etkisinin nasıl giderilebileceğini tanımlar.

Yukarıdaki mühendislik avantajlarının yanı sıra ayrıca Hata Türleri ve Etkileri Analizi tekniği kullanmanın getirdiği genel anlamdaki avantajlar aşağıda sıralanmıştır (Yılmaz, 2000);

- Hizmet veya ürünlerin kalitesini ve güvenilirliğini artırır.
- Şirket imajını artırır.
- Rekabet avantajını artırır.
- Müşteri tatminini artırır.
- Ürün geliştirme zaman ve maliyetini azaltır.
- Tasarım geliştirme faaliyetlerinde bir öncelik sağlar.
- En uygun sistem tasarımını seçmekte kolaylık sağlar.
- Gelişim isteği doğurur ve organizasyon kültürünü artırır.

HTEA çalışmaları sonucunda (Durhan, 2006);

- Hata giderilinceye kadar sürecin durması veya devam etmesi kararı verilir,

- Hataları önleyecek programlar hazırlanır,
- Makine, tezgâh ve süreç akışını gerçekleştiren donanımda hangi elemanların yenilenmesi gerektiği,
- Tasarım ve spesifikasyonlarda ne gibi değişikliklerin yapılacağı,
- İhtiyaç duyulan bakım süresi ve gerek duyulan bakım araç-gereci,
- Gerekli görülen testler,
- Bakım, operasyon, kontrol talimatlarında yapılacak değişiklikler belirlenir.

#### **1.1.4. HTEA'nın diğer kalite teknikleri ile ilişkisi**

1980'li yılların başından beri kalite alanında yapılan çalışmaların, sistem veya ürün/hizmet oluşturulmasının her aşamasında karşılaşılabilecek sorunları belirleyip, ortadan kaldıracak, böylece hem güvenilirliği artıracak, hem de kalitede sürekli iyileştirme sağlayacak teknikler geliştirme üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Sürekli iyileşme, geçmişteki sorunların öğrenilerek, gelecekte onların yeniden ortaya çıkmalarının önlenmesiyle gerçekleşecektir. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) de bu amaca hizmet eden bir tekniktir. HTEA, ürünün tasarım veya prosesini geliştirme ve yorumlamada yararlanılabilecek niceliksel bir tekniktir. HTEA, bu özelliklerinden dolayı Toplam Kalite Yönetimi'nde önemli bir yere sahiptir. Toplam Kalite Yönetimi'nde kaliteyi üretmek hedeflenir. Burada kontrol önemli olmakla birlikte kontrol yoluyla hatayı yakalamak, istenen başarıya götürmemektedir. Bunun yerine hatanın oluşum nedenlerine inerek ortaya çıkışını önlemek, dolayısıyla kusursuzluğu hedeflemek gerekmektedir. Bu yüzden ki, HTEA tekniği, Toplam Kalite Yönetimi'nde önemli bir işleve sahiptir.

Kalite yönetim sistemlerin de yer alan tekniklerden bazıları ile HTEA arasındaki ilişkiler bir sonraki sayfada açıklanmaktadır;

Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis - FTA), grafiksel ve mantıksal olarak normal ve hatalı olası olayların etkilerinin kombinasyonlarını gösterir. FTA ile hata nedenleri ve ortaya çıkma olasılığı bulunarak HTEA çalışmasında yararlanılabilir (Stamatis, 2003).

Kontrol Planı üreticinin belirli bir ürün, proses veya hizmet için kalite planlama faaliyetlerinin yazılı özetidir. Müşteri için önemli olan ve özel önlem gerektiren proses parametreleri ve tasarım karakteristikleri bu planda listelenir. HTEA da kritik ve önemli karakteristikleri belirler ve kontrol planı için başlangıç noktasını oluşturur (Stamatis, 2003).

Deney Tasarımında (Design of Experiments - DOE), belirli bağımsız değişkenler önceden belirlenmiş bir plana göre değiştirilirler ve bağımlı değişkenler üzerindeki etkileri belirlenir. HTEA uygulamalarında DOE'nin en uygun kullanılışı birkaç bağımsız değişkenin veya hataların nedenlerinin bileşik etkisinin belirlenmesinde olur.

Kalite Fonksiyon Yayılımı (Quality Function Deployment - QFD), müşteri girdilerinin tasarım, imalat ve servise kadar iletilmesinin, biçimi eve benzeyen bir dizi matris kullanarak fonksiyonlar arası bir takım tarafından yapılan bir ürün (hizmet) geliştirme sürecidir. QFD ve HTEA'nın pek çok ortak tarafı vardır. HTEA genellikle, QFD içinde hata önleme aracı olarak kullanılmaktadır. İstatistiksel Proses Kontrol (Statistical Process Control - SPC), HTEA'da oluşum sıklığı ve tespit edilebilirlik değerlerini belirlemede ve hataların saptanmasında kullanılmaktadır. HTEA, süreç iyileştirmede hangi süreçten ve/veya hatadan başlanacağını belirlemek amacıyla kullanılabilir.

#### **1.1.5. HTEA ile ilgili kavramlar**

Aşağıda HTEA ile ilgili çeşitli kavramların açıklamaları verilmiştir. Bu kavramların bazıları ileride ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Ancak, bütünlük arz etmesi bakımından toplu bir açıklamalar listesi verilmesi gereği duyulmuştur.

Müşteri: Ürün veya hizmetin ulaştığı son kişi ya da ara departmanlardır.

Müşteri, nihai ürünün ulaştığı son yer olabileceği gibi yarı mamulün ulaştığı ara duraklar da olabilir. Bir işletmeden çıkan mamulün piyasada ulaştığı nokta dış müşteridir. O ürünün işletmeye bağlı birimler arasında dolaştığı süreçte, her birim bir önceki birimin müşterisi olacaktır. Bu noktadaki müşteri, iç müşteri olarak

tanımlanır. HTEA çalışması içinde müşteri, oluşabilecek herhangi bir hatadan etkilenen kişi ya da birimler olarak görülür.

Fonksiyon: Bir ürün ya da sürecin karşılaması istenilen özellikleridir. Oluşabilecek bir hata, ürünün ya da sürecin bazı özelliklerinin çalışmasını önleyeceği gibi tüm özelliklerinin çalışmamasına da neden olabilir. Bu noktada müşteri beklentileri karşılanamaz ve işletme için rekabet gücü azalımı, kar kaybı gibi ciddi sıkıntılar meydana gelir.

Hata ve hata türü: Hata, bir ürün ya da sürecin, bu ürün ya da süreçten beklenen fonksiyonları yerine getirememesidir (Abdelgawad ve diğerleri, 2010).

Bu fonksiyonlar göz önüne alınarak, oluşan her hata sınıflandırılırsa hata türleri belirlenmiş olur.

Hata nedeni: Hata oluşumunu tetikleyen unsurdur. Bir hataya birden çok unsur neden olabilir. HTEA çalışması içinde hata nedenlerini incelerken, kök sebeplere inmek gerekir.

Hata etkisi: Hata türü önlenmediğinde veya düzeltilmediğinde, hatanın son ürün halindeki etkisi/sonucunun belirlenmesi aşamasıdır. Müşterinin neyi fark edebileceği veya müşterinin basına ne gelebileceğinin tanımlanmasıdır. Etki belirlenirken, benzer özellik taşıyan ürünlerin sonuçları ve geçmişteki hata türleri dikkate alınmalıdır (Erginel, 2002).

Mevcut kontroller: Hata türü önlenmediğinde veya düzeltilmediğinde, hatanın son ürün halindeki etkisi/sonucunun belirlenmesi aşamasıdır. Müşterinin neyi fark edebileceği veya müşterinin basına ne gelebileceğinin tanımlanmasıdır. Etki belirlenirken, benzer özellik taşıyan ürünlerin sonuçları ve geçmişteki hata türleri dikkate alınmalıdır (Erginel, 2002).

HTEA elemanı: HTEA çalışmasında belirlenen veya incelenen konulardır. Hata türleri, etkileri, kontroller, gerçekleştirilen faaliyetler buna örnek olarak gösterilebilir.

Oluşum Sıklığı: Hatanın oluşma sıklığıdır. Hatanın oluşma aralığının süre olarak belirlenmesidir.

Tespit edilebilirlik: Hata oluşmadan önce yakalanabilme olasılığıdır (Chao ve Ishii, 2007).

Ciddiyet (Şiddet): Hata etkisinin müşteriye yansıyan sonuçlarının değerlendirilmesidir.

Risk öncelik sayısı: Hatanın risk değerini belirten bir ölçümdür. Uygulanacak düzeltici faaliyetlerin sıralamasında kullanılır (Tay ve Lim, 2006). Şiddet, tespit edilebilirlik ve oluşum sıklığı değerlerin çarpılmasıyla bulunur. RÖS değeri en yüksekten en düşüğe doğru olacak şekilde hatalar sıralanır. En yüksek RÖS değerine sahip hata için düzeltici-önleyici faaliyet ilk sırada uygulanır.

$$RÖS = \text{Ciddiyet (C)} \times \text{Tespit Edilebilirlik (T)} \times \text{Oluşum Sıklığı (O)} \quad (1.1)$$

Kritiklik: Hatanın oluşum sıklığı ve müşteriye ulaşmadan bu hatanın saptanabilmesi ihtimallerinin çarpımıdır. Ek kalite planlaması gerektiren hataların önceliklerini belirlemede kullanılır.

Kritik Karakteristikler: Yasal düzenleme veya ürün veya hizmet güvenilirliğini etkileyebilen karakteristiklerdir. Genel olarak, kritik karakteristikler aşağıdaki faktörler tarafından belirlenir (Stamatis, 2003);

- Mahkemeler – ürün sorumluluğu açısından
- Düzenleyici kurumlar – formel düzenlemeler ve/veya düzenlemeler açısından
- Endüstriyel standartlar – genel kabul görmüş endüstriyel uygulamalar açısından
- Müşteri talepleri – müşterilerin istekleri, ihtiyaçları ve beklentileri açısından
- Dâhili mühendislik ihtiyaçları – geçmiş veriler, yeni teknoloji veya ürün veya hizmet tecrübesi açısından

Önemli karakteristikler: Proses, ürün veya hizmet kalite özelliklerinin toplanması gereken verileridir. Bu karakteristikler, müşteri - tedarikçi konsensüsü ile tanımlanır.

Tedarikçinin özel tasarımı kullanılırken, müşteri karakteristiklerini ve kalite gereksinimlerini etkileyecek dâhili karakteristiklerin belirlenmesinde müşteri ve

tedarikçi kalite planlama takımlarının katılımı zorunludur. Bütün önemli karakteristikler fizibilite aşamasında belirlemelidir (Durhan, 2006).

Anahtar karakteristikler: Prosese hızlı geri bildirim sağlayan ölçü göstergeleridir, kalite sorunlarının hızlı bir şekilde düzeltilmesine olanak sağlarlar. Aynı zamanda problemin kaynağında sağlarlar (Durhan, 2006).

HTEA’da üç tip anahtar karakteristik vardır;

- Rehber Karakteristik: Ürün veya servisin müşteriye ulaşmadan önce değerlendirilip analiz edilebilecek kalite ölçütüdür.
- Ara Karakteristik: Sevkiyat veya dağıtım sonrası fakat ürün veya hizmet müşterinin eline geçmeden önce değerlendirilip analiz edilebilecek kalite ölçütüdür.
- Sabıkalı Karakteristik: Ürün veya hizmet müşterinin eline geçtikten sonra müşteri memnuniyetini ölçmek için kalite ölçütünün değerlendirilip analiz edilmesidir.
- Özel Proses Karakteristikleri: İmalat ve montaj sırasında değişkenliği belirli bir hedef değerde tutulması gereken proses karakteristikleridir.
- Özel Ürün Karakteristikleri: Ürün güvenliğini etkileyebilecek, yasalara aykırı sonuçlara yol açabilecek veya müşteri memnuniyetinde önemli düşüşlere yol açabilecek ürün karakteristikleridir.

## 1.2. HTEA Çeşitleri

İlk HTEA uygulamaları donanıma yönelik olarak yapılmıştır. Yöntem yaygınlaştıkça fonksiyonel olarak prostesteki olası hataların belirlenip bunların giderilmesi için kullanılmaya başlamıştır. HTEA, daha sonraları tasarım ve hizmet alanlarında da uygulama bulmuştur.

Günümüzde genel olarak 4 çeşit HTEA olduğundan söz edilebilir. Bunlar;

- Sistem HTEA,
- Tasarım HTEA,
- Proses HTEA ve
- Servis HTEA’dır.

Ancak temel olarak bir ayrım yapmak gerekirse HTEA çalışmaları;

- Tasarım HTEA
- Proses HTEA olarak ikiye ayrılabilir.

### **1.2.1. Sistem HTEA**

Sistem HTEA' da hedef operasyonel (etkinlik ve performans) faktörler ile ekonomik faktörler arasında uygun bir denge tanımlamak ve oluşturmaktır. Bu hedefe ulaşmak için sistem HTEA; müşterinin belirlenmiş ihtiyaç, istek ve beklentileri dikkate alınarak yapılmalıdır. Sistem HTEA tasarım ve ilk konsept belirlemede sistem ve alt sistemlerin analiz edilmesinde kullanılır. Bir sistem HTEA çalışması sistem yetersizliklerinden kaynaklanan sistemin fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerine odaklanır. Sistemler arası ilişkileri ve sistemin elemanlarını da kapsar (Stamatis, 2003).

Sistem HTEA'nın çıktıları;

- Risk öncelik sayısına göre sıralanmış potansiyel hata türleri listesi,
- Potansiyel hata türlerini yakalayabilecek potansiyel sistem fonksiyonları listesi,
- Hata türlerini ortadan kaldıracak, güvenlik konularını ön plana çıkaracak ve ortaya çıkmayı azaltacak potansiyel sistem tasarım önlemlerinin listesi.

Sistem HTEA'nın yararları ise şunlardır;

- Optimum sistem tasarım alternatifini seçmede yardımcıdır.
- Gereksizlikleri belirlemede yardımcıdır.
- Sistem düzeyindeki diyagnostik prosedürlerin temelini tanımlamada yardımcıdır.
- Potansiyel problemlerin göz önüne alınma ihtimalini artırır.
- Potansiyel sistem hatalarını ve bunların sistem veya alt sistemlerle ilişkilerini belirler.

### **1.2.2. Tasarım HTEA**

Tasarım HTEA, ürünlerin üretim kararı verilmeden önce uygulanır. Tasarımdaki hatalardan dolayı hizmet veya imalat aşamalarında ortaya çıkabilecek olası ürün hata şekillerini ele alır. Tasarım bütünlüğünü sürekli kılmak amacı doğrultusunda, tasarım aşaması dışında imalatta, montajda, donanımda ve müşterinin kötü kullanımından

dolayı üründe oluşacak tasarımla ilgili sorunları tanımlar. Bu teknik ile sistem veya bileşenlerin güvenilirlik riskleri yazılı hale getirilir, her hata türünün etkisi analiz edilir ve düzeltici faaliyetler yani tasarım değişiklikleri tanımlanır (Durhan, 2006).

Tasarım HTEA tekniğinde iki yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşımda, sistem ya da ürün bir bütün olarak ele alınarak başlanır ve en alt birime kadar analiz edilir. İkincisinde ise, parça, bileşen gibi sistemlerin en alt düzeyindeki birimlerden başlanır, alt montaj, alt sistem gibi aşamaları geçerek sistemin ya da ürünün en son düzeyine kadar ilerlenir. Bu yaklaşımlardan birinin seçimi, sistemin ve sorunun büyüklüğüne bağlı olacaktır. Uygulamada kabul gören ikinci yaklaşımdır (Durhan, 2006).

Tasarım HTEA'nın çıktıları şunlardır;

- Risk Öncelik Sayısına göre sıralanmış potansiyel hata türleri listesi,
- Kritik ve/veya önemli hata karakteristiklerinin potansiyel listesi,
- Hata türlerini ortadan kaldıracak, güvenlik konularını ön plana çıkaracak ve ortaya çıkmayı azaltacak potansiyel tasarım önlemlerinin listesi,
- Uygun test etme, muayene ve/veya hata yakalama önlemleri parametrelerinin potansiyel listesi,
- Kritik ve önemli karakteristikler için önerilen potansiyel önlemlerin listesi.

Tasarım HTEA'nın yararları da şöyle sıralanabilir;

- Tasarım iyileştirme çalışmaları için öncelikleri belirler.
- Tasarım istekleri ve tasarım seçeneklerinin objektif değerlendirilmesine yardımcı eder, Değişikliklerin ne amaçla yapıldığını doküman eder.
- Ürün tasarım doğrulama ve test etmede yardımcı bilgi sağlar.
- Kritik veya önemli karakteristikleri belirlemede yardımcıdır.
- Tasarım gereksinim ve alternatiflerinin saptanmasına yardımcıdır.
- Olası hata şekilleri ve sistemin çalışmasında bunların etkilerinin tasarımın gelişme aşamasında göz önünde tutulmasını sağlar.
- Potansiyel güvenilirlik gereksinimlerinin belirleme ve ortadan kaldırmada yardımcıdır.
- Gelişme ve iyileşme programları ve planlarında kullanılacak bilgiyi sağlar.



### 1.2.3. Proses HTEA

İmalat ve montaj süreçlerini analiz etmede kullanılır. Proses veya montaj yetersizliklerinden kaynaklanan hata türleri üzerinde odaklanır (Stamatis, 2003). HTEA sonucu, proseste yapılan iyileştirmeler, bu tekniğin aynı zamanda proses geliştirme yaklaşımı olarak tanımlanmasını sağlar. Proses HTEA, kusursuz ürünler üretmek için analizcilere montaj ve imalat proseslerinde kullandıkları makineleri, aletleri, prosesleri ve insan gücünün etkilerini analiz ederek, imalat proseslerini değerlendirebilme yani zayıf noktalarını belirleme olanağını verir (Durhan, 2006).

Donanım hataları, çalışanların hataları, uygun olmayan malzeme ve yöntemlerin kullanımı sonucu oluşan hatalar proses HTEA ile ürün üretime girmeden önce belirleneceğinden kusurları düzeltmek kolay olacaktır. Ancak, makine, malzeme, insan, yöntem, ölçme ve çevre olarak tanımlanan üretim bileşenleri arasında etkileşimlerin olması proses HTEA'nın daha zor ve zaman alıcı olarak tanımlanmasına neden olmaktadır (Stamatis, 2003).

Proses HTEA'nın çıktıları şunlardır;

- Risk Öncelik Sayısına göre sıralanmış potansiyel hata türleri listesi,
- Kritik ve/veya önemli hata karakteristiklerinin potansiyel listesi,
- Kritik ve önemli karakteristikler için önerilen potansiyel önlemlerin listesi,
- Hata türlerinin nedenlerini ortadan kaldıracak, ortaya çıkmalarını azaltacak ve saptanma düzeylerini iyileştirecek potansiyel önlemler listesi.

Proses HTEA'nın yararları olarak şunlar sıralanabilir;

- Proses yetersizliklerini belirler ve düzeltici ve önleyici faaliyetler planı önerir.
- Kritik ve/veya önemli karakteristikleri saptar ve kontrol planları geliştirmede yardımcı olur.
- Düzeltici ve önleyici faaliyetler için öncelik sırasını verir.
- İmalat veya montaj süreçlerinin analizinde yardımcıdır.
- Değişiklerin ne amaçla yapıldığını dokümante eder.

#### **1.2.4. Servis HTEA**

Hizmetler müşteriye ulaşmadan önce hizmetlerin analiz edilmesinde kullanılır. Sistem veya proses yetersizliklerinden kaynaklanan hata türleri üzerinde odaklanır.

Servis HTEA'nın çıktıları şunlardır;

- Risk Öncelik Sayısına göre sıralanmış potansiyel hata türleri listesi,
- Kritik veya önemli proses veya işlemlerin potansiyel listesi,
- Darboğaz yaşanan proses veya işlemlerin potansiyel listesi,
- Hataları ortadan kaldıracak potansiyel önlemler listesi,
- Gözlenecek sistem veya proses fonksiyonlarının potansiyel listesi.

Servis HTEA'nın sağladığı faydalar şöyle sıralanabilir:

- İş akışının analiz edilmesinde yardımcıdır.
- Sistem ve/veya proseslerin analiz edilmesinde yardımcıdır.
- İşlem yetersizliklerini belirler.
- Kritik veya önemli işlemleri belirler ve kontrol planlarının geliştirilmesinde yardımcı olur.
- İyileştirme çalışmaları için öncelikleri ortaya koyar.
- Değişiklerin ne amaçla yapıldığını doküman eder.

#### **1.2.5. Hata türü, etkileri ve kritiklik analizi**

Anlatılan 4 HTEA çeşidinden başka bir de Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi (FMECA) denilen bir yöntem vardır.

FMECA, iki analiz tekniğinin birleşmesi ile oluşur (Durhan, 2006);

- Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)
- Kritiklik Analizi (Criticality Analysis – CA)

Olası hata türünün etkileri kritikliklerine göre sınıflandırılırsa, yöntem Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi (FMECA) olarak adlandırılır. FMECA, sistemdeki bütün olası hataları, sistemin işlemesi sırasında ortaya çıkması olası olan hata etkilerini hata türü analiziyle belirleyen, hata noktalarını tanımlayan ve hataları kritikliklerine göre sınıflandıran bir yöntemdir.

Kritiklik, hata türü ve onun ortaya çıkma sıklığının sonuçlarının görelî ölçüsüdür. Kritiklik analizi, HTEA ile belirlenen her bir olası hata türünü, ciddiyet ve ortaya çıkma olasılığının her ikisine (birleşimine) göre sınıflandırılmasını sağlar (Stamatis, 2003).

### **1.3. HTEA Yöntemi**

Genel olarak bakıldığında HTEA yönteminde olası hatalar tanımlanır; her bir olası hatanın nedenleri belirlenir, müşteri üzerindeki etkileri değerlendirilir, uygulanan kontroller gözden geçirilir, düzenleyici faaliyetler önerilir ve bunların uygulanması izlenir.

HTEA'nın amacı, bilinen ve potansiyel problemleri müşteriye ulaşmadan önce belirlemek ve önlemektir. Problemlerin farklı öncelikleri vardır. Bu yüzden bu önceliklerin belirlenmesi HTEA metodolojisinin önemli bir uğraşı alanıdır.

Hata önceliklerini belirlemede yardımcı üç bileşen vardır;

- Oluşum sıklığı (O)
- Ciddiyet (C)
- Tespit edilebilirlik (T)

Oluşum Sıklığı; Hatanın sıklığını, ciddiyet; Hatanın ciddiyetini (etkisini), tespit edilebilirlik; Hatayı ürün müşteriye ulaşmadan tespit etme yeteneğini gösterir. Bu bileşenlerin değerlerini belirlemede pek çok yöntem vardır. Alışılmış yöntem, nümerik skalaların kullanımınıdır (Durhan, 2006).

Bu aşamada bir HTEA projesine ne zaman ve hangi şartlar altında başlanması gerektiği sorusu akla gelebilir. Daha önce de belirtildiği üzere HTEA bilinen veya potansiyel problemlerin ortadan kaldırılması ile müşteri memnuniyetini arttırmayı amaçlayan bir metodolojidir. Bunu gerçekleştirmek için HTEA mümkün olduğunca erken, hatta bütün gerçekler ve bilgiler mevcut değilken başlatılmalıdır. HTEA'yı uygulayan kişiler bütün bilgilerin toplanmasını beklememelidir. Çünkü bütün veri ve bilgilere hiçbir zaman sahip olunamaz.

HTEA uygulamasına başlanabilecek bazı durumlar aşağıda sayılmıştır (Stamatis, 2003);

- Yeni sistemler, tasarımlar, ürünler, prosesler veya servisler oluşturulurken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler sebeplerine bakılmaksızın değiştirilirken,
- Mevcut koşullardaki sistem, sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler için yeni uygulamalar bulunurken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servislerin geliştirilmesi düşünüldüğü zaman.

Bu noktada akla gelen bir başka soruda bir HTEA çalışmasının ne zaman sona erdirileceğidir. Normal olarak HTEA yapılan sistem, tasarım, proses veya hizmet var oldukça HTEA devam eder. Sadece sistem, tasarım, ürün, proses veya servisin sona erdirilmesi veya sürdürülmesi kararı verildiğinde HTEA son bulur.

HTEA uygulamasının sonlandırılacağı bazı durumlar aşağıda sayılmıştır (Stamatis, 2003);

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

Hata Türü ve Etkileri Analizi uygulamasıyla standart bir uygulama süreci henüz yoktur. Çoğunlukla her işletme kendi organizasyon yapısına göre ve isteklerine göre bir uygulama süreci oluşturmuş ve bunu izlemektedir (Stamatis, 2003).

Uygulama süreçlerindeki farklılıklara rağmen genel bir HTEA prosedürü şu şekilde verilebilir (Pillay ve diğerleri, 2003);

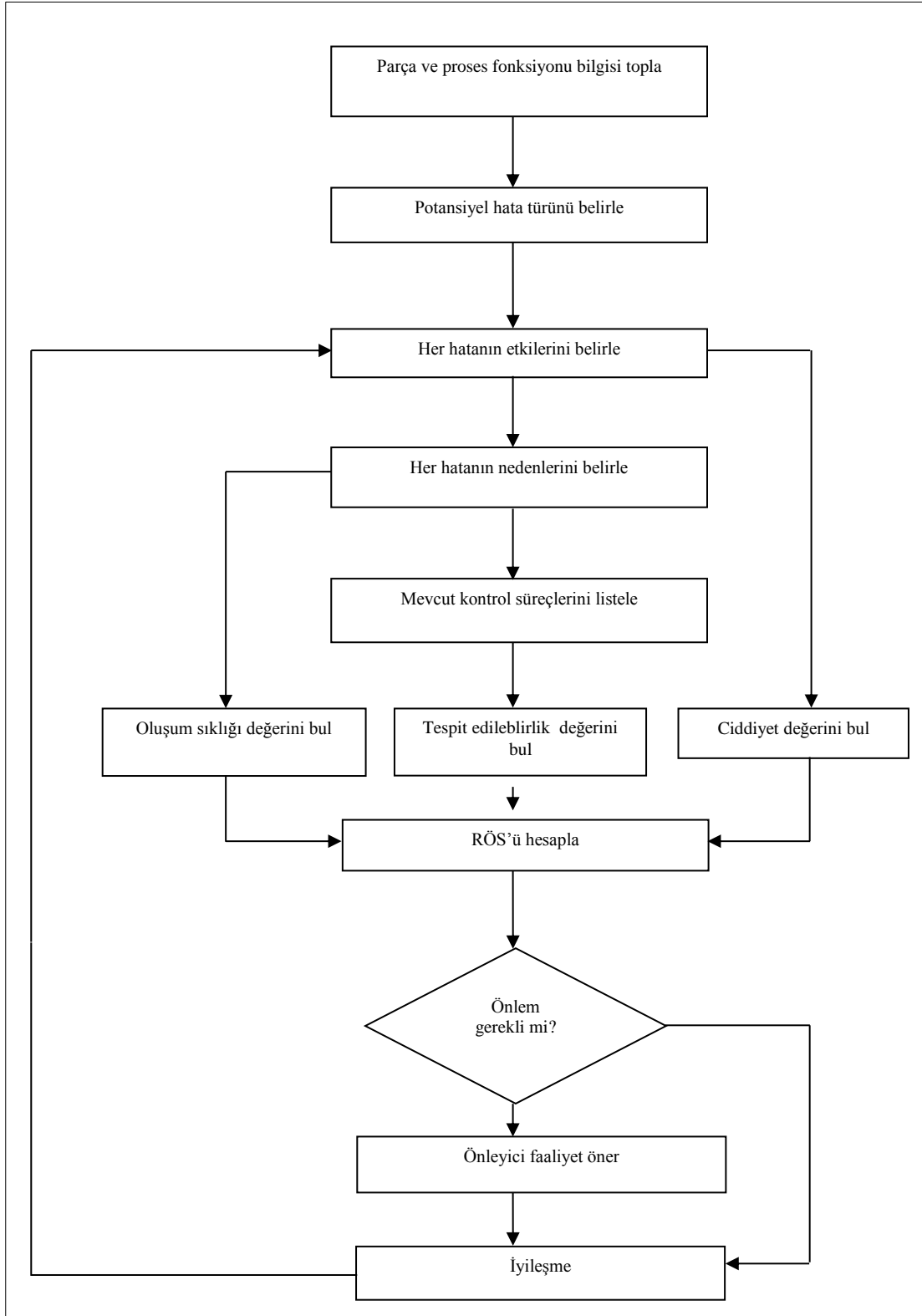
- Sistemin tam olarak çalıştığında ne yapması gerektiği tam olarak bilinmelidir.
- Bileşenleri daha iyi anlayabilmek için sistem alt sistemlere veya parçalara bölünmelidir.

- Şemalar, akış diyagramları ve benzeri tablolar kullanılarak sistemin bileşenleri ve bu bileşenler arasındaki ilişkiler belirlenmelidir.
- Her sistem parçası için tam bir bileşen listesi oluşturulmalıdır.
- Sistemi etkileyebilecek operasyonel ve çevresel faktörler belirlenmelidir. Bu faktörlerin tek tek bileşenlerin performanslarını nasıl etkilediği belirlenmelidir.
- Her bileşene ait hata türü ve bu hata türlerinin sistem parçalarını, alt sistemleri ve tüm sistemi nasıl etkilediği belirlenmelidir.
- Her hata türü için tehlike derecesi (ağırlık) saptanmalıdır (Bunun için pek çok kalitatif yöntem geliştirilmiştir.)
- Hata türünün oluşum sıklığı ve saptanabilme ihtimali tahmin edilmelidir. Somut istatistiksel verilerin olmadığı durumlarda bu ihtimal kalitatif yöntemlerle saptanabilir.
- Oluşum sıklığı, ciddiyet ve tespit edilebilirlik değerleri belirlendiğinde her hata türü için Risk öncelik sayısı (RÖS) hesaplanabilir. RÖS değerine bakılarak önlem alınması gereken hata türleri kararlaştırılmalıdır.
- Sistem performansını arttırmak için hata türü ile ilgili çözüm önerileri geliştirilmelidir.
- Analiz özetlenir. Bunun için HTEA formları kullanılır.

Süreçte mevcut durumda uygulanan kontrol işlemleri, bazı hataların önlenmesini ya da oluşmuş olan hataların düzeltilmesini sağlamaktadır. HTEA uygulanacak süreci incelerken kontrol amaçlı uygulanan işlemleri belirlemek gerekmektedir. Bu işlemler üretimde hat kontrolü, ürün üzerinde kalite kontrol işlemleri, yarı mamul üzerinde uygulanacak ara kalite kontroller, giriş kalite kontrol işlemleri gibi uygulamalardan oluşur.

Kontrol işlemleri yapılırken ya da yapılması gereken işlemler planlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, hatayı henüz oluşmadan yok etmeye yönelik olan önleme işlemlerine ağırlık vermek olacaktır. Böylece hata oluşuktan sonra düzeltme işlemleri ile kaybedilecek zaman, is gücü ve malzeme kaybı önlenmiş olur. Ayrıca HTEA uygulaması içinde “olasılık” değerinin düşürülmesi de sağlanmış olur. Final kalite kontrole ağırlık vermek, yeniden değerlendirme maliyetlerini arttıracak, verimliliğin de azalmasına neden olacaktır.

Şekil 1.1.'de gösterilen algoritma iyi bir HTEA çalışması için sorumlulara oldukça faydalı bir yol göstericidir.



Şekil 1.1. HTEA süreci (Pillay ve diğerleri, 2003)

### **1.3.1. Başlangıç çalışmaları**

Başlangıç çalışmaları HTEA uygulaması öncesinde yapılması gereken hazırlıklardan oluşur. Bu aşama üç başlıkta incelenebilir;

- HTEA kapsamının belirlenmesi
- HTEA takımının kurulması
- HTEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin incelenmesi

#### **1.3.1.1. HTEA kapsamının belirlenmesi**

Çalışmanın başında HTEA'nın sınırları ve amacı tam olarak belirlenmelidir. Bunun yazılı bir doküman hazırlanıp buna incelenecek sistem, tasarım, proses veya servis hakkında bilgilerde eklenebilir. Kapsam belirlenirken ayrıca HTEA takımının sorumluluklarını da ortaya konmalıdır. HTEA takımı oluşturulduktan sonra da HTEA kapsamı ile ilgili değişikliklere gidilebilir (Durhan, 2006).

Daha önce de belirtildiği gibi bir HTEA çalışmasına başlamak için sistem, ürün veya proses için aşağıdaki durumlardan birinin gerçekleşmiş olması gerekir (Durhan, 2006);

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

Çalışma sınırları iki şekilde belirlenir;

- İlk yöntemde tasarım veya üretim sürecinin bütün adımları içerilir, çalışmalar ilerlemeye bağlı olarak zaman içinde gerçekleştirilir.
- İkinci olarak, tasarım veya üretim sürecinin kritik olarak kabul edilen bazı adımları ele alınır. Tasarımda kritik olarak kabul edilen birim, bir parça veya bir alt montaj olabilir. Üretim süreci için ise kritik alan fonksiyonlardan oluşacaktır.

HTEA çalışmalarında dikkat edilmesi gereken önemli bir husus uygulama alanını çok büyük tutmak yerine küçük birkaç parçaya bölmektir. Böylece daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus mevcut durumun ve ulaşılmak istenen hedef değerin sayısal olarak tanımlanmasıdır. Bu şekilde değerlendirme aşamasında önemli kolaylıklar sağlanabilir.

#### **1.3.1.2. HTEA takımının kurulması**

HTEA bir takım çalışmasıdır ve tek başına gerçekleştirilemez. Yöntemin grup yerine tek bir kişi tarafından uygulanması durumunda, analizin tamamlanarak bilgilerin HTEA tablolarında yer alması sağlanabilmesine rağmen değerlendirmelerde yanlılık ortaya çıkabileceğinden istenmez (Durhan, 2006).

Her HTEA alışması için takımlar özel olarak belirlenir. Takımlar apraz fonksiyonlu ve çok disiplinli olmalıdır. HTEA takımı oluşturulurken çok çeşitli bakış açıları ve tecrübelerin bir araya getirilmesi amaçlanır (Durhan, 2006).

HTEA alışmasında (Durhan, 2006);

- HTEA konusunda uzman, takımı koordine etmekten sorumlu bir takım lideri olmalıdır.
- Takım elemanları incelenen süreci en iyi bilenlerden seçilmelidir.
- Takım elemanlarına tam zamanında eğitim verilmelidir.
- Grubu oluşturan üye sayısı yeteri kadar fikir üretebilecek ve konunun dağılmasına fırsat vermeyecek büyüklükte, örneğin 5 ila 8 kişi arasında olmalıdır.
- Olumlu sonuçların alınabilmesi için üst yönetimden kişilerin de grupta yer alması sağlanmalıdır.

#### **1.3.1.3. HTEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin incelenmesi**

HTEA projelerinin başarıya ulaşabilmesi için incelenen ürün veya sistem hakkında ayrıntılı bilgiye ulaşılmalıdır. Bu amaçla HTEA yapılacak konu ayrıntılı olarak incelenir.

İlk olarak ürün veya sistemin fonksiyonları, çalışma ve üretim şekli belirlenir. Fonksiyonların, ürün veya sistemlerin ne içe yardımcıları ya da var olma sebepleri ile tanımlanır. Kolaylık sağlamak amağıyla, bilgilerin gösteriminde diyagramlardan



(akış diyagramları vb.) yararlanılabilir. Test ve değerlendirme, kalite güvencesi, bütünlük lojistik destek, sistem emniyeti, tasarım ve geliştirme alanlarında yapılan çalışmalar da HTEA’da yararlanılabilecek önemli kaynaklardır (Stamatis, 2003).

### **1.3.2. HTEA yapılan sistem, tasarım, proses veya serviste yer alan hatalara yönelik çalışmalar**

Başlangıç çalışmaları bittiğinde HTEA’nın kapsamı, HTEA’yı yapacak kişiler ve HTEA yapılacak konu hakkında ayrıntılı bilgi elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra sıra HTEA yapılacak konuda yer alan hatalarla ilgili kısımlara gelmiştir. Bu kısım aslında çoğu zaman inceleme kısmı ile iç içe girmiş durumdadır. Daha sonraki aşamalara önemli ölçüde etki edeceğinden bu aşama titizlikle ele alınmalıdır (Stamatis, 2003).

Bu alt başlık altında;

- Olası hata türlerinin belirlenmesi
- Olası hata etkilerinin belirlenmesi
- Olası hata nedenlerinin belirlenmesi
- Olası hataları saptamak için yapılan kontrollerin belirlenmesi konuları incelenecektir.

#### **1.3.2.1. Olası hata türlerinin belirlenmesi**

Daha önce de belirtildiği üzere olası hata türü iç ve dış müşterinin ihtiyaç, istek ve beklentileri ile örtüşmeyen; bir ürün veya prosesin arzulan fonksiyonunun gereği gibi veya hiç yerine getirilmemesidir. Hata kategorisi olarak da kullanılmaktadır. Hata türü, fiziksel özellikler ile tanımlanır. Olası hata türünü belirlerken, hatanın ortaya çıkabileceği fakat ortaya çıkmasının gerekmeyeceği kabulü yapılır. Olası hata türü, genellikle hatanın ortaya çıkma türü ve sistemin çalışmasındaki etkisinin tanımını içerir (Stamatis, 2003).

Olası hata türleri saptanırken cevap aranan sorulardan bazıları şöyle sıralanabilir (Durhan, 2006);

- Sistem, tasarım proses veya servis ile ilgili olası sorunlar nelerdir?
- Parçanın belirlenen şartları karşılayamadığı durumlar nelerdir?

- Öngörülen mühendislik özelliklerini hiç göz önüne almadan, müşterinin itiraz edebileceği düşünülen herhangi bir unsur var mıdır?
- Bir sonraki veya daha sonraki operatör neyi kötü olarak değerlendirecektir?
- Son kullanıcı (müşteri) neyi kabul edilmez olarak tanımlayacaktır?

HTEA takımının olası hata türlerini belirlemek için kullanabilecekleri diğer bir yaklaşım, ürün veya sistemin performans, bütünlük, istenildiği zaman kullanıma hazır olma, güvenilirlik, dayanıklılık, faydalı ömür, estetik gibi özelliklerin birkaçına veya hepsine sahip olma durumu önceden belirlendiğinde bunun gerçekleşip gerçekleşmediğini belirlemek olabilir. Olması istenen ancak gerçekleşmeyen özellik hatayı gösterecektir.

Hata türleri bulunurken sistemin her bileşenine odaklanmak HTEA takımının işini çok zorlaştıracaktır. Böyle bir durumdan kaçınmak için değişik araçlar kullanılabilir (Durhan, 2006);

- Hata türlerini çeşitli kategorilere ayırıp organize etmek için ilişki diyagramlarından yararlanılabilir.
- Balık kılıcı diyagramı ise hataları kategorilere ayırmada ve her kategorideki hataların nedenlerini doğru olarak saptamada yardımcıdır.

Hata türlerini belirlemek için (Durhan, 2006);

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

gibi kaynaklardan sağlanan bilgilerden yararlanır.

Olası hata türlerine örnek olarak;

- Kırılma
- Deforme olma

- Korozyona uğrama
- Açılmama
- Kapanmama
- Aşınma
- Delinme
- Sıkışma
- Açık devre (elektrik)
- Kısa devre (elektrik)
- Yeterli güç sağlanamaması
- Gürültü
- Renk uyumsuzluğu
- İşlememe
- Titreme
- Kesintili işleme
- Hızın ayarlanamaması verilebilir.

### **1.3.2.2. Olası hata etkilerinin belirlenmesi**

Daha önce de belirtildiği üzere olası hata etkisi müşterinin yaşayabileceği hoşnutsuzluk ve tehlike oluşturabilecek durumlardır. Müşteri; bir sonraki işlem, izleyen işlemler veya son kullanıcıdır. HTEA uygulamalarında müşteri genellikle son kullanıcı olarak düşünülmektedir. Olası hata etkisi, hatanın ortaya çıkması durumunda, müşterinin neyin farkında olacağını gösterir. Kısaca, hata ile karşılaşan müşterinin tepkisini, yani olası hatayla karşılaştığında oluşan sonuçları tanımlar.

Olası hata etkisi, “Bu hata türü ortaya çıkarsa ne tür sonuçlara yol açar?” sorusuna cevap aranarak saptanır. Olası hata etkilerini saptamada kullanılan kaynaklardan bazıları şöyle sıralanabilir (Stamatis, 2003);

- Müşteri şikâyetleri
- Garanti verileri
- Benzer ürün için yapılmakta olan veya yapılmış HTEA sonuçları
- Güvenilirlik verileri
- İlgili deney çalışmalarının sonuçlarından elde edilen veriler.

Olası hata etkilerine örnek olarak aşağıdakiler verilebilir;

- Gürültü
- Arızalanmaya yatkınlık
- Tekrar kullanılamama
- Kazaya yatkınlık
- Müşteri memnuniyetsizliği
- Kötü görünüş
- Uyumsuzluk
- Yasalara aykırı durum
- Aşırı çaba isteme
- İmaj kaybı
- Yaralanma veya ölüm
- Yanlış işlem
- Kesintili işlem
- Tamir edilemeyen işlem
- Düşük performans
- Fonksiyonun yerine getirilememesi

### **1.3.2.3. Olası hata nedenlerinin belirlenmesi**

Daha önce de belirtildiği üzere olası hata nedeni tasarım veya prosesin belli bir elemanının hata türü ile sonuçlanmasına yol açan faktördür. Hatanın nedeni, hatanın türünü oluşturabilecek ilk anormalliktir. Hata nedenleri tasarım veya proses esnasında sorunların ortaya çıkma gerekçelerini gösterir (Durhan, 2006).

Olası hata nedenlerini belirlemek için “Olası hata türüne yol açabilecek nedenler nelerdir?” sorusuna yanıt aranır.

Olası hata nedenleri belirlenirken şu hususlar dikkate alınmalıdır (Stamatis, 2003);

- Bir hata nedeni bir veya birden fazla hata türüne yol açabilir.
- Birden fazla hata nedeni tek bir hata türüne yol açabilir.
- Bir hata nedeni bir veya birden çok faktörün bir araya gelmesi sonucu ortaya çıkabilir.

Hata nedenlerinin belirlenmesinde;

- Balık kılıcı diyagramı
- “3m+1i” (Makine, malzeme, metot ve insan) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntemlerin dışında, geçmiş dönem kayıtlarının yer aldığı veri bankaları, hata ağacı analiz tekniği, blok diyagramları, yaratıcılık yöntemleri de hata nedenlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Hata nedenlerine örnek olarak aşağıdakiler verilebilir;

- Aşırı yüklenme
- Aşırı zorlanma
- Dengesizlik
- Uygun olmayan bakım talimatları
- Yanlış tanımlanmış malzeme kalınlıkları
- Yanlış kullanım
- Kötü çevre koşulları
- Yanlış malzeme seçimi
- Uygun olmayan tasarım ömür kabulü
- İşgücünün eğitim yetersizliği
- Makine ayarsızlıkları
- Operatör hatası
- Proses ve kalite kontrollerinin yapılmaması

#### **1.3.2.4. Mevcut kontrollerin belirlenmesi**

Daha öncede belirtildiği üzere mevcut kontroller HTEA çalışması yapıldığı sırada söz konusu hata türünün ortaya çıkmasını veya müşteriye ulaşmasını önlemek için kullanılmakta olan mekanizmalardır. HTEA çalışmasında düşünülmesi gereken kontroller sadece olası hata türünün saptanabilme derecesini bulmada katkıda bulunacak kontrollerdir. Bir hatanın ortaya çıkmasını önlemek veya azaltmak için yapılan kontroller ortaya çıkma derecesini bulmada katkı sağlarlar (Stamatis, 2003). Bazı durumlarda bir hata türünü saptamak için mevcut kontrol yöntemi bulunmayabilir. Böyle bir durum da belirtilmelidir.

Mevcut kontroller bulunurken “Bu hata türü nasıl saptanmaktadır?” ve “Bu hata türü nasıl fark edilmektedir?” sorularına cevap aranmaktadır.

İşletmelerde yapılan ağırlık, boyut kontrolleri, çalışırılık testleri, kaçak kontrolleri, gözle muayeneler vb. önlemler mevcut kontrollere örnek gösterilebilir.

### **1.3.3. Hata türlerinin değerlendirilmesi**

Olası hata türleri, etkileri, nedenleri ve mevcut kontroller belirlendikten sonra sıradaki süreç hata türlerinin kritikliklerine göre değerlendirilmesidir. Bilindiği üzere HTEA eldeki kaynakları en etkili biçimde kullanmayı amaçlar. Bu amacına da bütün hatalarla bir anda mücadele etmek yerine hataları işletme için bir öncelik sırasına koyarak ulaşır. HTEA uygulaması devam ettikçe ve hataların zaman içinde öncelikleri değiştikçe nihai amaç olan kusursuzluğa yaklaşılr.

Değerlendirme için her bir olası hatanın risk esasına göre kritiklikleri belirlenir. MIL– STD 1629A’da kritiklik ”Hata türünün ortaya çıkma sıklığının sonuçlarının görelî ölçüsüdür” şeklinde tanımlanmaktadır. Kritiklik Sayısı, risk faktörlerinin olasılık değerleri kullanılarak hesaplanır. Ancak uygulamada işlem kolaylığı sağlamak amacıyla kritiklik, olasılıksal bir değer yerine sayısal büyüklük olarak ifade edilir.

Risk Öncelik Sayısı adı verilen bu sayı, hata ortaya çıkma ve bulunabilirlik risk faktörlerinin olasılık ile ve ağırlık risk faktörünün sözel olarak tanımlanan değerlerine belirli aralıkta yer alan sayılar atanıp matematiksel işlem uygulanması sonucu bulunur. Risk Öncelik Sayısının bir değeri veya anlamı yoktur sadece hataların kritiklik yönünden göreceli olarak karşılaştırılmasını ve sıralanmasını sağlar (Durhan, 2006).

İlerleyen bölümlerde hata türlerinin değerlendirilmesinin alt başlıkları olarak;

- Oluşum sıklığı
- Ciddiyet
- Tespit edilebilirlik
- Risk öncelik sayısı konuları ele alınmaktadır.

Ortaya çıkma, ciddiyet ve tespit edilebilirlik değerleri belirlenirken kullanılacak yöntem HTEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin durumuna göre seçilir. Tasarım ve proses HTEA yapılırken değerlendirmede kullanılacak yöntemlerin seçiminde yararlanılabilecek faktörler ve seçim kriterleri Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Tasarım ve proses HTEA' da değerlendirme için kullanılacak yöntemlerin seçim kriterleri (Stamatis, 2003)

Eğer	Kullanılan	Seçim
Tasarım diğer tasarımlara benzer ise veya elimizde geçmişe ait veriler varsa	Benzer tasarımlardan elde edilen veriler veya geçmişe ait veriler; güvenilirlik verileri, mevcut dağılımlar, matematiksel modeller, simülasyon	Mevcut veriler ve/veya proses yetenek oranı (Cpk)
Tasarımın veya benzerlerinin hata kayıtları mevcutsa	Güvenilirlik, tasarım ve gerçek dağılımlara dayanan geçmiş veriler, matematiksel modeller, simülasyon, kümülatif veriler ve/veya hata oranları	Mevcut veriler ve/veya kümülatif hata sayıları
Tasarım yeni ise ve/veya sayısal veriler mevcut değilse	Takım yargısı	Sübjektif kriterler, takımda uzlaşma sağlama
Proseste istatistiksel proses kontrol uygulanıyorsa	İstatistiksel veriler, güvenilirlik verileri, proses yeteneği, mevcut dağılımlar, matematiksel modeller, simülasyon	Mevcut veriler ve/veya proses yetenek oranı (Cpk)
Proses diğer proseslere benzer veya geçmişe ait veriler mevcutsa	Geçmişe ait veriler ve benzer sistemlerin verileri, güvenilirlik verileri, proses yeteneği, mevcut dağılımlar, matematiksel modeller, simülasyon	Mevcut veriler ve/veya proses yetenek oranı (Cpk)
Hatalarla ilgili geçmiş veriler varsa	Güvenilirlik, tasarım ve gerçek dağılımlara dayanan geçmiş veriler, matematiksel modeller, simülasyon, kümülatif veriler ve/veya hata oranları	Mevcut veriler ve/veya kümülatif hata sayıları
Proses yeniyse ve/veya mevcut sayısal hiçbir veri yoksa	Takım yargısı	Sübjektif kriterler, takımda uzlaşma sağlama

### 1.3.3.1. Oluşum Sıklığı değerlerinin belirlenmesi

Oluşum sıklığı, olası hata nedeninin oluşması ve ürünün beklenen ömrü içinde kullanımı sırasında hata türüne yol açmasının ihtimalidir. Hatanın ortaya çıkma sıklığını gösterir ve her bir olası hata türünün gerçekleşmesi olasılığı ile ilgilidir.

Oluşum sıklığı değerini belirlemek için iki farklı yaklaşım vardır (Stamatis, 2003).

- Birinci yaklaşımda, bir hata türü (veya hata nedeni) için ortaya çıkma değerini belirlemektir.
- İkincisinde ise oluşum sıklığı değeri hata nedeni ile onun sonucunda ortaya çıkan hata türünün ilişkilendirilmesi ile bulunur.

Neden oluşursa, hata türünün de oluşacağı esas alınır. Bu değer iki sözü edilen iki olasılık değerinin çarpımından bulunur.

MIL – STD 1629A’da hatalar ortaya çıkma ihtimallerine göre sınıflandırılırken değerlendirme kriterleri şöyle oluşturulmuştur;

- A Düzeyi, Ortaya Çıkma Olasılığı Çok Yüksek Olan Hatalar: Birim işleme zaman aralığında hataların ortaya çıkma olasılıkları çok yüksektir. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,20’den büyüktür.
- B Düzeyi, Ortaya Çıkma Olasılığı Oldukça Yüksek Olan Hatalar: Birim İşleme zaman aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları ortadadır. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,10 – 0,20 aralığındadır.
- C Düzeyi, Ara sıra Gözüken Hatalar: Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları küçüktür. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,01 – 0,10 aralığındadır.
- D Düzeyi, Oldukça Az Gözüken Hatalar: Birim işleme aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları çok küçüktür. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,001 - 0,01 aralığındadır.
- E Düzeyi, Son Derece Az Ortaya Çıkan Hatalar: Hataların ortaya çıkma olasılıkları birim işleme zaman aralığında sıfıra yakındır. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,001’den küçüktür.

Daha önce de belirtildiği gibi HTEA uygulamalarında oluşum sıklığı değeri olasılık olarak belirlenmez. Bunun yerine kullanılan sistem ortaya çıkma ihtimali için çeşitli olasılık aralıkları oluşturmak ve oluşum sıklığı değerini bu tabloda yer alan derecelere göre belirlemektir (Pillay ve diğerleri, 2003). Bu amaçla oluşturulmuş Tablo 1.2. olarak verilmiştir.

Tablo 1.2. Oluşum sıklığı derecelendirme tablosu (Pillay ve diğerleri, 2003)

Oluşum Sıklığı İhtimali	Derece	Hata İhtimali (İşgünü olarak)
Neredeyse Hiç	1	< 1:20.000
Düşük	2	1:20.000
	3	1:10.000
	4	1:2.000
Orta	5	1:1.000
	6	1:200
	7	1:100
Yüksek	8	1:20
	9	1:10
Çok Yüksek	10	1:2



Tablo 1.2. sektörel olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bazen derecelendirmede 1 - 10 skalası yerine 1 – 5 skalası veya başka skalalar da kullanılmaktadır.

Hata nedeninin oluşum sıklığı değerleri istatistiksel yöntemlerden ve benzer ürünlerden yararlanarak belirlenir. Her bir hata nedeninin, hata türünün oluşmasındaki katkısı ise varyans analizi, Taguchi teknikleri, Bayes analizi gibi istatistiksel yöntemlerle veya benzer ürünlerin verilerden yararlanılarak belirlenebilmektedir. Somut verilerin olmaması durumunda grup üyelerinin deneyimlerinden faydalanılır ve oluşum sıklığı değerlerini kestirmeleri istenir (Stamatis, 2003). Sonuç olarak bu aşamanın sonunda her bir hata için kullanılan skalaya göre bir oluşum sıklığı değeri saptanmış olur.

### **1.3.3.2. Ciddiyet değerlerinin belirlenmesi**

Ciddiyet, olası hata etkisinin müşteriye yansıyan sonuçlarının değerlendirilmesidir. Hata ağırlığı etkiye karşılık gelir ve aralarında doğrusal bir ilişki vardır. Hatanın etki düzeyi arttıkça ciddiyet de artar. Ciddiyet derecesini belirlemek için kullanılan veri kaynakları hata etkisini belirlemede kullanılanlarla aynıdır (Durhan, 2006).

- Hata ağırlığını belirlemek için;
- Müşteri anketlerinden,
- Geri dönen ürünlerle ilgili tutulan kayıtlardan,
- Geçmiş dönemlerde benzer ürün veya sistemler için tutulan kayıtlardan,
- Laboratuvar deneyleri veya simülasyon çalışmaları sonuçlarından ve
- HTEA takımında bulunan kişilerin deneyimlerinden yararlanılır.

Yapılan çalışmanın amacı hata türlerinin doğurabileceği sonuçları, niteliksel bir ölçü ile değerlendirebilmektir. Sonuç olarak her bir hata türü doğurabileceği kayıplara göre sınıflandırılmış olur. Kayıplar sistemin hasar görmesi, fonksiyonunu yitirmesi, can kaybı, yaralanma şeklinde ortaya çıkar. Kayıp miktar ve çeşitleri, hata etkisinin derecesini belirler. Etki derecelerini belirlemek için aynı zamanda sistemin girdi ve çıktılarındaki kayıpları esas alan tanımlar da kullanılabilir (Stamatis, 2003).

MIL – STD 1629A’da hata türlerinin ağırlıklarına göre şu şekilde sınıflandırılmıştır;

1. Sınıf – Felaket Getirici Hata;

- Can kaybına neden olan,

- Birimin fonksiyonel çıktısında ciddi ölçüde azalmaya yol açan,
- Sistem veya ürün düzeyinde etkisi gözlenen hatalar.

#### 2. Sınıf – Kritik Hata;

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

#### 3. Sınıf – Küçük Hata;

- Birimin fonksiyonel çıktısında küçük etkilere, çalışanlarda küçük yaralanmalara neden olan,
- Sistemde küçük hasara yol açan,
- Duruşlara veya çıktıda çok az azalmaya yol açacak hatalar.

#### 4. Sınıf – Çok Küçük Hata;

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

Tablo 1.3. Ciddiyet derecelendirme tablosu (Pillay ve diğerleri, 2003)

Ciddiyet (Müşteriye Etki)	Derece
Neredeyse Hiç	1
Düşük	2
	3
	4
Orta	5
	6
	7
Yüksek	8
	9
Çok Yüksek	10

Tablo 1.3. sektörel olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bazen derecelendirmede 1 - 10 skalası yerine 1 – 5 skalası veya başka skalalar da kullanılmaktadır.

Bu aşamanın sonunda her bir hata türü etkisine göre bir ciddiyet derecesi ile eşleştirilmiş olur.

### 1.3.3.3. Tespit edilebilirlik değerinin belirlenmesi

Tespit edilebilirlik, mevcut kontrollerin hatanın bulunarak müşteriye ulaşmasını engelleme derecesidir. Olası hata türünün, bir sonraki aşamada veya son müşterinin kullanımını esnasında ortaya çıkacağı varsayıldığından, öngörülen saptama önlemlerinden geçmiş olması gerekir. Bu nedenle, tespit edilebilirlik ile ilgili olasılık değeri, ortaya çıktığı varsayılan hata nedeninin ya da şeklinin müşteriye ulaşabilme olasılığı olarak tanımlanır (Durhan, 2006).

Tespit edilebilirlik değeri;

- Analiz edilen birimlerin benzerlerinden,
- Geçmiş dönem verilerinden,
- Ürün iç denetlemelerinden,
- Somut veri olmayan durumlarda grup üyelerinin deneyimlerinden yararlanılarak bulunur.

Tablo 1.4. Tespit edilebilirlik derecelendirme tablosu (Pillay ve diğerleri, 2003)

Tespit edilebilirlik	Derece	Saptama İhtimali (%)
Çok Yüksek	1	86 – 100
	2	76 – 85
Yüksek	3	66 – 75
	4	56 – 65
	5	46 – 55
Orta	6	36 – 45
	7	26 – 35
	8	16 – 25
Düşük	9	6 – 15
	Neredeyse İmkansız	0 – 5

Tablo 1.4. sektörel olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bazen derecelendirmede 1 - 10 skalası yerine 1 – 5 skalası veya başka skalalar da kullanılmaktadır. Bu aşama sonunda her bir hata türünün saptanabilirlik derecesi belirlenmiş olur.

### 1.3.3.4. Risk öncelik sayısının hesaplanması

Risk Öncelik Sayısı (RÖS), belirlenen oluşum sıklığı (O), ciddiyet (C) ve tespit edilebilirlik (T) değerleri kullanılarak elde edilen bir değerdir. Hata türlerinin kritikliklerini gösterir ve hata türlerini öncelik sırasına koymakta kullanılır.

RÖS'ü hesaplamada kullanılan 2 yaklaşım Denklem (1.2) ve (1.3) olarak aşağıda belirtilmiştir;

$$\text{Çarpma İşlemi ile RÖS} = O \times T \times C \quad (1.2)$$

$$\text{Toplama İşlemi ile RÖS} = O + T + C \quad (1.3)$$

Uygulamada yaygın olarak kullanılan yaklaşım risk faktörleri olan oluşum sıklığı, ciddiyet ve tespit edilebilirlik değerleri, oluşum sıklığı, ciddiyet ve tespit edilebilirlik olduğundan dolayı çarpma işlemi ile RÖS'ü hesaplamaktır (Durhan, 2006).

RÖS değerinin hesaplanmasında kullanılan diğer yaklaşım risk faktörlerini toplamaktır. Toplama işlemi ile RÖS'ün belirlenmesi birtakım üstünlükler sağlar. Bu üstünlük, kritikliği belirlemede en önemli risk faktörü olan hata önemliliğinin, toplama işlemiyle RÖS değeri üzerinde etkisinin, daha belirgin olarak görülmesidir (Durhan, 2006).

RÖS bir olasılık değeri olarak da ifade edilebilir. Bunun için, bulunan RÖS değerleri olabilecek RÖS değerine bölünür. Dolayısıyla 0 ve 1 arasında değişecek RÖS değerleri için oluşturulan öncelik sırası skaladan değerler atandığı durumdaki sıralama ile aynı olacaktır.

Değişik uygulamalarda RÖS değerini hesaplamak için farklı risk faktörlerinin de kullanıldığı görülmüştür. Ancak RÖS değeri hesaplanırken vazgeçilemeyecek iki risk faktörü oluşum sıklığı ve ciddiyettir. Bir HTEA çalışmasında, grup üyeleri önceliklerin oluşturulmasında bu iki faktör dışında başka faktörleri de göz önünde bulundurmamak isteyebilir. Bu faktörler şunlar olabilir (Stamatis, 2003);

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

Faktörler saptandıktan sonra RÖS değerinin hesabında kullanılacak yöntem yine grup tarafından belirlenebilmektedir.

#### **1.3.3.5. HTEA formu**

HTEA çalışmasında elde edilen bilgileri düzenli olarak tutabilmek ve HTEA sürecini kolaylaştırmak için HTEA formlarından yararlanılır. HTEA formlarında,

- HTEA türü
- HTEA no'su
- HTEA sorumlusu
- Ürün/Sistem/Servis adı
- HTEA tarihi
- Revizyon no
- Hazırlayanın adı
- Proses Fonksiyonu
- Olası hata türü
- Olası hata etkileri
- Olası hata nedenleri
- Mevcut kontroller
- Ciddiyet
- Oluşum sıklığı
- Tespit edilebilirlik
- RÖS
- Önerilen faaliyetler
- Önlemlerin sonuçları

gibi başlıklar bulunur. Örnek bir HTEA formu Şekil 1.2. olarak verilmiştir.

HTEA FORMU				SİSTEM / PARÇA ADI :				TARİH :				HTEA NO :			
SİSTEM				EKİP LİDERİ :											
ALT SİSTEM				EKİP ÜYELERİ :											
PARÇA															
MEVCUT DURUM								İYİLEŞTİRME AŞAMASI				İYİLEŞTİRME SONRASI			
Potansiyel Hata Modu	Potansiyel Hata Etkisi	Sıklık	Sınıflı	Hatanın Potansiyel Nedenleri	Olasılık	Mevcut Süreçte Önleyici Kontrol	Kesif edilebilirlik	R.Ö.S.	Önerilen İyileştirmeler	Sorumlu ve Tamamlama Zamanı	Gerçekleşen Önlemler ve Tamamlanma Zamanı	Sıklık	Olasılık	Kesif edilebilirlik	R.Ö.S.

Şekil 1.2. HTEA formu örneği (Bayrakdar, 2009)

### 1.3.4. Risk öncelik sayısının değerlendirilmesi

Risk öncelik sayıları bulunduktan sonra hatalar bu değere göre sıralanır. Sonuç olarak hatalar kritikliklerine göre sıralanmıştır. Bu aşamadan sonra,

- RÖS değerleri değerlendirilerek önlem alınacak hata türleri ve
- Alınacak önlemler belirlenir.

#### 1.3.4.1. Önlem alınacak hata türlerinin belirlenmesi

RÖS değerleri belirlenip hata türleri buna göre sıralandıktan sonra cevap verilmesi gereken soru “Öncelikleri belirlenmiş bu hatalardan hangileri için önlem alınmalıdır?” sorusudur. Bu amaçla uygulanan bir yöntemlerden bir tanesi RÖS değerleri için sınıf aralıkları oluşturarak bu sınıflar için bir histogram çizmektir. Böylelikle RÖS değerlerinin hangi aralıklarda yoğunlaştığı ve RÖS değerlerinin bariz olarak ayrıldığı noktalar belirlenebilir. Daha sonra bu ayrımlara göre öncelikli olarak önlem alınması gereken hata türleri saptanır.

Ford Motor Şirketi, HTEA uygulamalarında RÖS değerlerine göre düzeltici önlem alma kararları şu ölçütlere göre yapılmaktadır;

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

Renault'da yapılan uygulamalarda ise RÖS > 100 olan hatalar düzeltici önlem alınması gereken risk taşıyan hatalardır. 100'ün üzerindeki en büyük değer en fazla risk taşıyacağından öncelikle ele alınacak hatayı verir.

Uygulamalarda RÖS ile ilgili rastlanan durumlardan biri de farklı hataların aynı RÖS değerine sahip olmasıdır. Aynı RÖS değerine sahip iki veya daha fazla hata varsa, öncelikle ağırlığı ve sonra da tespit edilebilirlik değeri yüksek olan ele alınmalıdır. Ağırlığı yüksek olan hata önceliklidir, çünkü bu değer hatanın etkisini göstermektedir. Tespit edilebilirlik, oluşum sıklığı değerinden daha önemlidir çünkü burada söz konusu olan hatanın müşteriye ulaşmasıdır. Müşteriye ulaşan hatalara, sık ulaşan hatalardan daha öncelikli olarak yaklaşılmalıdır (Stamatis, 2003).

#### **1.3.4.2. Alınacak önlemlerin belirlenmesi**

HTEA çalışması sonucu alınacak önlemlerde amaç RÖS değerini aşağıya çekmektir. Bunun içinde risk faktörlerinin derecelerini (uygulamalarda genellikle kullanılan oluşum sıklığı, ciddiyet ve tespit edilebilirlik faktörlerinin değerlerini) küçültecek önlemler alınır.

Oluşum sıklığı derecesini küçültecek önlemler arasında (Stamatis, 2003);

- Planlar, şartnameler,
- Üretim yöntemleri, üretim akış yöntemleri,
- Organizasyon,
- Tasarımlar,
- Çevre ve koruma koşullarında değişiklikler yapmak sayılabilir.

Ciddiyet derecesini düşürmek için ise, ürün veya sistem tasarımı üzerinde değişiklikler yapılmalıdır. Bazı durumlarda ciddiyet derecesi değiştirilemeyebilir (Stamatis, 2003).

Saptama faktörü için belirlenen dereceyi küçültmek için de şunlar yapılabilir (Stamatis, 2003);

- Kontrol sıklıkları artırılır,
- Kontrol yönteminin güvenilirliği artırılır,

- Uygun olmayan parçaların bir sonraki müşteriye ulaşmasını önleyecek fiziksel olanaklar sağlanır.

RÖS değerini düşürmede hangi faktörün değerinin düşürüleceği faktörün aldığı değer ve yapılacak iyileştirmenin maliyeti düşünülerek seçilir.

#### **1.3.4.3. Önlemlerin uygulanması**

Önlemlerin uygulamaya konması, HTEA'nın dinamik aşamasını oluşturur. Öncelikle önlemleri uygulayacak kişiler ve bunları ne kadar sürede uygulamaya koyacakları belirlenir. Daha sonra öngörülen önlemlerin yeterli etkinlikte uygulamaya alınıp alınmadıkları belirlenir. Önlemlerin devreye alınması çok önemlidir. Bu aşamada kritik RÖS değerleri ortadan kaldırılıncaya kadar çözümler incelenir ve değerlendirilir. RÖS değerinin istenilen düzeylere düşürülmesi hedefine ulaşıldığında yeni RÖS değerlerini bulmak, bazı durumlarda da ortaya çıkabilecek yeni hata türlerini saptamak için yeni bir HTEA uygulamasına başlanabilir.

### **1.4. HTEA'nın Amaçları, Faydaları ve Güçlükleri**

#### **1.4.1. HTEA'nın amaçları ve faydaları**

Hata türü ve etkileri analizi yöntemi; sistem ve ürün tasarımı, üretim süreci ve bakım faaliyetleri tasarımında kullanılabilir en etkileyici yöntem olup doğru uygulanması halinde firmalara oldukça fazla yarar getirecek bir kalite tekniği olarak ön plana çıkmaktadır. Yöntemin uygulaması sırasındaki temel hedef, olası hatanın sebebinin dolayısı ile hatanın etkisinin minimuma indirilmesidir (Eryürek ve diğerleri, 2003). Bu hedefi şu maddeleri belirleyerek sağlamaktadır (Franceschini ve diğerleri, 2001);

- Sistem ya da bileşenleri,
- Potansiyel hata türleri,
- Potansiyel hataların etkileri,
- Şiddet değerleri,
- Potansiyel hataların sebepleri,
- Hataların oluşma sıklıkları,
- Düzeltici faaliyetlerin tasarımı,



- Risk öncelik katsayısı.

Tasarım ve üretimde HTEA kullanımı için yapılan yatırım, tüm sistem maliyetlerinin düşmesinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. HTEA uygulaması, maliyet etkisinin yanı sıra iş gücü üzerinde etkili kazanımlar sağlamaktadır. Güvenli bir süreç kontrolü ve ürün/süreç tasarımı için gerekli bilgilerin oluşturulması adına kapsamlı bir sistem inşa edilmesini sağlar. Kalite kontrol sistemi ile HTEA sürecini birleştirmek, üretim için daha güvenli bir sistem oluşumunu sağlayacaktır (Teng ve diğerleri, 2004).

HTEA tekniği şu fonksiyonların gerçekleşmesini amaçlar (Yılmaz, 2000);

- Ürün, proses ya da hizmette hataların oluşturacağı en küçük bir zararın bile oluşumunun engellenmesini sağlamak için hata türlerini sistematik olarak gözden geçirme,
- Ürün, proses ya da hizmeti ya da bunların fonksiyonelliğini etkileyebilecek her türlü hatayı ve bu hatanın etkilerini tanımlama,
- Tanımlanan bu hatalardan hangilerinin ürün, proses ya da hizmet operasyonlarında daha kritik etkilerinin olduğunu belirleme ve bu yüzden meydana gelebilecek en büyük hasarı ve hangi hata türünün bu hasarı üretebileceğini tanımlama,
- Montajda, montaj öncesinde, üründe ve proseste hataların oluşum olasılığını ve bunun nereden kaynaklanabileceğini (dizayn, operasyon, vb.) belirleme,
- Diğer kaynaklardan elde edilmesi mümkün olmayan hata oranlarını ve türlerini tanımlayarak gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlama,
- Güvenilirliğin deneysel olarak test edilebilmesi için gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlama,
- Bir ürün için değişikliklerin olabilecek etkilerini tanımlama,
- Yüksek riskli bileşenlerin nasıl güvenilir hale getirilebileceğini tanımlama,
- Montaj hatalarının olabilecek kötü etkisinin nasıl giderilebileceğini tanımlama.

Yukarıda belirtilen tüm bu fonksiyonların gerçekleştirilmesi ile HTEA tekniğinin sağladığı faydaları şu şekilde sıralayabiliriz (Durhan, 2006);

- Ürünün, tasarım, güvenilirlik, imalat teknolojisi ve emniyet alanlarındaki eksik, zayıf ve yetersiz noktalarını belirler.
- Olası değişiklik maliyetlerini azaltır. Kâğıt üzerinde yapılan bir değişiklik üretim aşamasında değişiklik yapılmasından çok daha ucuza mal olmaktadır.
- Ürünün pazara sunulma zamanını kısaltır. Kâğıt üzerinde değişiklik yapmak, üretim aşamasında değişiklik yapmaktan çok daha az zaman alır.
- İç iskartaları azaltır.
- Ürün sorumluluğu konusunda riski azaltır.
- Müşteri memnuniyetinin artmasını sağlar.

Tekniğin uygulanması ile elde edilecek bu yararlar, firma için çok önemli kazanımları da beraberinde getirecektir. Hizmet veya ürünlerin kalitesini ve güvenilirliğini arttırarak şirket imajını artırır. Müşteri tatminin üst düzeyde olmasını sağlar. Rekabet avantajını artırır. Ürün geliştirme zaman ve maliyetini azalttığı gibi tasarım geliştirme faaliyetlerinde bir öncelik sağlar. En uygun sistem tasarımını seçme adımına kolaylık getirir. Gelişim isteği doğurur. Organizasyon kültürünü artırır. Hata Türü ve Etki Analizinin sağladığı avantajlar incelendiğinde bu tekniğin, firmaların pazarda yüksek güvenilirliğe sahip, kaliteli ürünleri düşük maliyet ile tasarlamasını ve üretmesini sağladığı ve kötüye giden operasyon maliyetlerini kontrol altına alarak hataların müşteriye yansımadan en erken biçimde önlenmesine yardımcı olduğu görülmektedir (Yılmaz, 2000).

#### **1.4.2. HTEA uygulamalarındaki güçlükler**

HTEA uygulamalarında bazı güçlükler ile karşılaşılır. Karşılaşılan bu güçlükler genellikle yöntemin içerdiği teknik açıdan değil, bazı eksiklikler sonucudur. HTEA uygulamalarında karşılaşılan güçlüklerin başlıcaları şunlardır (Durhan, 2006);

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

Bu yöntemin uygulanmasında karşılaşılan en büyük güçlük veri eksikliğinden kaynaklanmaktadır. HTEA ile ilgili bütün bilgilerin etkin bir şekilde girildiği ve

idare edildiği veri tabanlarının olmaması uygulamayı güçleştirir, sağlıklı sonuçlar alınmasını önler.

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda HTEA tekniğine çeşitli eleştiriler getirmiştir. Bu eleştirilerden başlıcası uygulama sonucunda aynı RÖS değerine sahip hata türleri oluşabilmesidir. Böyle bir durumda klasik HTEA yaklaşımının önerdiği sıralama önceliği kaynakların gereksiz yere sarf edilmesine yol açabilir. Eleştirilerden bir diğer, yöntemde risk faktörlerinin ağırlıklarının eşit kabul edilmesi ve önemlerinin farklı olabileceğinin ihmal edilmesidir. Ayrıca verilerin olmadığı durumlarda teknik, risk faktörlerini sayısallaştırmada yetersiz kalabilmektedir (Pillay ve diğerleri, 2003). HTEA'nın tekniğinden kaynaklanan bu problemleri gidermek için bulanık mantık yaklaşımından yararlanılmaya başlamıştır (Price ve diğerleri, 2002).

### **1.5. HTEA Uygulama Örneği**

HTEA uygulaması Ford Otosan şirketinde uygulanmıştır. Bu uygulamalarla Bir HTEA formunda nelerin bulunduğu ve bu bölümlere ne tür bilgilerin yazıldığı görölmektedir.

ISO 9000 şu an yürürlükteki en önemli kalite standardı olup tüm dünyada inanılmaz bir hızla yayılmaktadır. 100'ün üzerindeki ölkedeki binlerce şirket ISO 9000 sertifikası almıştır ve bir o kadarı da ISO 9000 için çalışmalarını sürdürmektedir. ISO 9000 her tür kuruluşa uygulanabilir. Ne yaptıkları ve ne büyüklükte oldukları önemli değildir. Gerek üretim gerekse hizmet temelli kuruluşların tüm dünyaca kabul görmüş kalite standartlarına ulaşmasını sağlar.

International Organization of Standardization (IOS)'un temel amacı tüm insanların anlayacağı ve kabul edeceği tek bir standart yaratarak uluslararası ticareti kolaylaştırmaktır.

ISO 9000 uluslararası kabul görmesi nedeniyle önemlidir. Halen 120'nin üzerindeki ölkenin ulusal standardizasyon kuruluşları tarafından desteklenmektedir. Bu durum yalnız başına, uluslararası iş yapan herhangi bir kuruluşun ISO 9000'i seçmesi için yeterlidir. Benzer şekilde uluslararası kalitede bir ürün ya da hizmet isteyen müşteriler de ISO 9000'i arayacaklardır.

ISO 9000 sistematik yapısı nedeniyle önemlidir. Pek çok insan kalitenin sadece insanların yeterince motive olmaları, doğru tutumları geliştirmeleri halinde mümkün olacağını düşünmektedir. Doğru tutumlar; doğru politikalar, prosedürler, kayıtlar, kaynaklar ve yapı ile desteklenerek kurumsallaştırılmadığı müddetçe kalitenin başarılması çok güçtür.

Hata Türleri ve Etkileri Analizi tekniği ISO 9000 belgesini almak için uygulanması zorunlu bir teknik değildir. Fakat bu tekniğin kullanılması yoluyla ISO 9000 'in bazı şartların sağlandığı yönünde kanıtlar ortaya konabilir.

ISO 9001:2000 'in 5.2 Müşteri Odaklılık maddesi "Üst yönetim, müşteri tatmininin artırılması amacına yönelik olarak, müşteri şartlarının belirlenmiş yerine getirilmiş olmasını sağlamalıdır" demektedir. ISO 9004:2000 ' de açıklanan 8 prensipten biride müşteri odağıdır. Bu prensip de şöyle tanımlanmaktadır: "Kuruluş müşterilerin mevcut ve gelecekteki ihtiyaçlarını göz önüne almalı, müşteri şartlarını yerine getirmeli ve müşteri beklentilerini aşmak için çaba göstermelidir." Kuruluş içerisinde yapılan HTEA çalışması ile üst yönetim müşteri faktörünü bu çalışmada ele aldığı şiddet değeriyle göz önüne almaktır. Şiddet değerinin hesaplanmasıyla olası hata türünün müşteri üzerinde yapacağı etki hesaplanır ve hatanın önleyici veya düzeltici faaliyetlerle önlenmesi çalışması için müşteri göz önüne alınmış olur. Dolayısıyla HTEA çalışması ISO için müşteri tatmininin artırılmasına ve müşterinin yapılan faaliyetlerle göz önünde bulundurulduğuna çok iyi bir kanıt oluşturur.

ISO 9004:2000'de "Çalışanalar kuruluşun özüdür. Onların katılımı, yeteneklerinin kuruluşun yararına kullanılmasının sağlar." diye tanımlanan Çalışanların Katılımı prensibi HTEA çalışmasıyla etkin bir şekilde hayata geçirilebilir. HTEA çalışması çok disiplinli bir takım çalışması ile başarılı bir şekilde yürütülür. Çok disiplinli bir takım oluşturmak içinde çalışanların katılımı esastır.

Ayrıca ISO 9004:2000'de tanımlanan bir diğer prensipte Sürekli İyileştirme prensibidir. Belirlenecek durumlarda yapılacak HTEA çalışmasıyla tasarım, bileşen, alt sistem veta sistemlerin sürekli olarak geliştirilmesi ve iyileştirilmesi sağlanır. Olası hata türleri HTEA çalışmasıyla risk önceliklerine göre sıralandıktan sonra, en büyük riske sahip olası hata türünden başlanarak hataların üzerine gidilir ve hataların

etkileri yok edilir veya azaltılır. Böylece sistem sürekli bir gelişme ve iyileşme içerisinde olur.

Aşağıda Hata Türleri ve Etkileri Analizi Prosedürü görülmektedir. Bu prosedür ile bir HTEA çalışmasının hemen hemen tüm uygulama aşamaları gösterilmiştir. Kurulardan kuruluşa bazı küçük değişiklikler yapılarak bu prosedürün tüm kuruluşlarca düzenlenmesi ve uygulanması kuruluş için faydalı olacaktır. (FMC, 2000)

### **1.5.1. Amaç**

Tüm şirket iş süreçleri sırasında ortaya çıkması muhtemel hata türlerini ve olası nedenleri ile etkilerini belirleyerek hata riskinin elimine edilmesi veya azaltılması için kullanılacak yöntemin esaslarını belirlemek.

### **1.5.2. Kapsam**

Şirket dahilinde üretilen veya üretilecek olan tüm ürün ve/veya süreçleri kapsar. Kapsamı oluşturma aşamasında üretilen ürünleri incelemek gereklidir.

### **1.5.3. İlgili dokümanlar**

Hata Türleri ve Etkileri Analizi Formu kullanılır. Şekil 1.2.'de örneği verilmiştir. Formda belirtilen ilgili alanlar doldurulur.

### **1.5.4. Uygulama**

HTEA aşağıda belirtilen temel durumlarda yapılacaktır:

Durum 1: Yeni tasarımlar, yeni teknoloji veya yeni süreçler. HTEA; tüm tasarım, teknoloji veya süreci kapsar.

Durum 2: Var olan bir tasarım veya süreçte değişiklikler (var olan süreç veya tasarım için mevcut bit HTEA olduğu varsayılıyor). HTEA; tasarım veya süreçteki değişikliklere ve bu değişikliklerden doğacak olan etkileşimlere odaklanmalıdır.

Durum 3: Var olan bir tasarım veya sürecin yeni bir çevre, bölge veya uygulamada kullanılması (var olan süreç veya tasarım için mevcut bit HTEA olduğu

varsayılıyor). HTEA; yeni çevrenin veya mekânın var olan tasarıma veya sürece olan etkisini kapsar.

HTEA çalışmalarının dokümantasyonu için Hata Türleri ve Etkileri Analizi Formu kullanılır;

- Parça no ve adı açık ve anlaşılır bir şekilde yazılır.
- Süreç Sorumlusu: İlgili süreçten sorumluların ismi ve süreç adı yazılır.
- HTEA' ya başlangıç ve bitiş tarihi, hazırlayan tarafından doldurulur.
- HTEA sorumluları, formdaki kısım kaydedilir.
- Hazırlayan: HTEA formunu hazırlayanın ismi yazılır.
- Revizyon Tarihi: Öngörülen faaliyetler izlenmesi neticesinde ortaya çıkan değişikliklerin tarihi söz konusu boşluğa kayıt edilir.
- HTEA ve sayfa nosu hazırlayan tarafından belirli bir sıra takip edilerek kayıt edilir.
- Yapılan faaliyetler; öngörülen faaliyetler tamamlandıktan sonra alınan önlemlerin kısa bir tanımı yapılır. Ayrıca tarihi de belirlenir.
- Süreç/Faaliyet: Sürecin basit bir tanımı ve numarası ile ilgili limakine numarası yer alır. Sürecin, farklı hata şekillerinin ortaya çıktığı birden fazla operasyondan meydana gelmesi halinde; her operasyon ayrı değerlendirilecektir.
- Muhtemel Hatalar: Muhtemel hatalar, ortaya çıkması muhtemel olan ancak mutlak olmayan hata şeklinde tarif edilir. HTEA çalışmasında her bir süreç için, süreç karakteristikleri dikkate alınarak, muhtemel hatalar listelenir.

HTEA çalışmasının sorumlusu, aşağıdaki soruları ortaya atmalı ve cevaplandırılmalıdır;

- Hangi durumlarda spesifikasyon limitleri aşılabacaktır?
- Spesifikasyonlar haricinde müşterinin itiraz edebileceği hususlar nelerdir?

Hataların Etkileri: Her bir hata türünün müşteri üzerindeki muhtemel etkileri belirlenerek, formda listelenecektir. Burada müşteri müteakip süreç/süreçler olabileceği gibi, satıcı ve/veya tüketici olabilir. Hatanın muhtemel etkilerini belirlerken, yukarıda tanımlanan müşteri tiplerinin her biri dikkate alınacaktır.

Hatanın etkileri müşterinin dikkat edeceği veya deneyerek görebileceği hususlar göz önüne alınarak belirlenecektir.

Öncelik Sınıfı: Söz konusu hata, etkileri açısından değerlendirildikten sonra önceliklendirilmelidir.

Hatanın Sebepleri: Her bir hata türü için tespit edilebilen tüm muhtemel nedenler listelenecektir. Listenin mümkün olduğu kadar geniş tutulması gerekmektedir. Sadece spesifik nedenler kaydedilmeli, muğlak nedenler (operatör hatası, makine hatası v.b.) yazılmamalıdır. Hataların sebeplerinin tespitinde Beyin Fırtınası ve Neden-Sonuç Analizi gibi kalite tekniklerinden yararlanılmalıdır.

Mevcut Kontroller: Hata nedenlerini oluşmadan önlemek ya da hatalı olanı tespit etmek amacıyla, süreçte yapılan tüm mevcut kontroller listelenecektir.

Hatanın belirli bir nedenin sonucu olarak hangi sıklıkta oluşabileceği tahmin edilecektir. Hata oluşma olasılığının tahmininde, birden ona kadar rakamlardan oluşan aşağıdaki puanlama tablosundan yararlanılacaktır. Bu tasnifleme için sadece, hata nedeni meydana gelmeden bu hata nedenini önlemeye yönelik metotlar düşünülmüş olup, hata tespit ölçümleri burada dikkate alınmamıştır. İstatistiksel Süreç Kontrol (SPC) uygulanan süreçlerde istatistiksel veriler, hata oluşumu ile ilgili tasniflemede esas kabul edilecektir. Diğer bütün süreçlere ait geçmiş tecrübelerden yararlanmak suretiyle, tahmini bir değerlendirme yapılacaktır.

Hataların müşteriye yansımada şiddet değerlendirmesi Tablo 1.5'e göre yapılır.

Tablo 1.5. Hataların müşteriye yansımaları (FMC, 2000)

Etki	Etkinin Şiddeti		Derece
	Bu derecelendirme, potansiyel bir hata türünün nihai bir müşteri ve/veya üretim/montaj hatasına sebep olduğunda gerçekleşir. Nihai müşteri her zaman birinci derecede gelmelidir. Eğer her ikisi gerçekleşirse, yüksek olan şiddet değerini kullanın. (Müşteri Etkisi)	Bu derecelendirme, potansiyel bir hata türünün nihai bir müşteri ve/veya üretim/montaj hatasına sebep olduğunda gerçekleşir. Nihai müşteri her zaman birinci derecede gelmelidir. Eğer her ikisi gerçekleşirse, yüksek olan şiddet değerini kullanın. (Üretim/Montaj Etkisi)	
Tehlikeli	Emniyetle ilgili arıza, yasalarla uyumsuz bir arıza. Hata her hangi bir ikaz olmadan meydana gelir.	Veya operatörü (makine veya teçhizat) ikazsız tehlikeye atabilir.	10
Ciddi	Emniyetle ilgili arıza, yasalarla uyumsuz bir arıza. Hata bir ikazla meydana gelir.	Veya operatörü (makine veya teçhizat) ikaz vererek tehlikeye atabilir.	9
Çok Büyük	Ürün kullanılmaz hale gelip temel fonksiyonlarını kaybeder.	Üretimin %100' ü hurdaya ayrılabilir veya parçanın tamir edilmesi 1 saatten fazla sürebilir.	8
Büyük	Ürün kullanılabilir ancak düşük performansta. Müşteri büyük hoşnutsuzluk duyar.	Üretim ayıklanması ve bir bölümünün (%100'den az) hurdaya ayrılması gerekir veya tamir edilmesi yarım saat ile 1 saat arasında sürer.	7
Önemli	Cihaz/parça kullanılabilir ancak Rahatlık/Uygunluk bileşenleri kullanılamaz. Müşteri hoşnutsuzluk duyar.	Veya ürünün ayırt edilmesi ve bir kısmının (%100'den az) hurdaya ayrılması veya yarım saatten az bir süre tamir edilmesi gerekir.	6
Düşük	Cihaz/parça kullanılabilir ancak Rahatlık/Uygunluk bileşenleri düşük performanstadır.	Ürünün %100' ü yeniden işlenmek durumunda olabilir ancak tamir bölümüne girmez.	5
Çok Düşük	Ürün performansı veya süreç üzerinde az etki. Hata pek çok (%75) müşteri tarafından algılanabilir.	Veya ürün hurdaya ayrılmadan sınıflandırılır/ayıklanır ve yeniden işlenir(%100' den az)	4
Önemsiz	Ürün performansı veya süreç üzerinde önemsiz etki. Hata müşterilerin %50'si tarafından algılanabilir.	Veya ürünün bir kısmı (%100' den az) hurdaya ayrılmadan yeniden işlenir.	3
Çok Önemsiz	Ürün performansı veya süreç üzerinde önemsiz etki. Hata ancak müşterilerin %25'i tarafından algılanabilir.	Veya bir kısmı (%100' den az) hurdaya ayrılmadan yeniden işlenir.	2
Etkisi Yok	Ürün performansı veya süreç üzerinde hiç bir etkisi yok.	Veya süreç ya da operatöre çok az günlük/rahatsızlık yaratır veya hiçbir etkisi olmaz.	1

Tablo 1.6. Hata olasılık matrisi (FMC, 2000)

	Derece	Hata İhtimali (İşgünü olarak)
Çok Yüksek: Devamlı Hata	10	Bin parçada 100'den fazla
	9	Bin parçada 50
Yüksek: Sık Hata	8	Bin parçada 20
	7	Bin parçada 10
Orta: Bazen Hata	6	Bin parçada 5
	5	Bin parçada 2
	4	Bin parçada 1
Düşük: Az Hata	3	Bin parçada 0,5
	2	Bin parçada 0,2
	1	Bin parçada 0,01'den az
Çok Düşük: Hata Olasılığı Çok Az	1	

Hatanın Saptanabilirliği: Hatanın, bitmiş mamul sevk edilmeden önce veya müşteriye ulaşmadan önce, saptanabilme ihtimali tahmin edilecektir. Bu işlemde; hatanın oluştuğu kabul edilerek hata nedeni veya hatanın saptanabilmesi için yapılan tüm kontrollerin etkinliği ölçülür. Hatanın saptanabilirliğinin ölçümünde Tablo 1.7'den yararlanır.



Tablo 1.7. Hata yansımaya olasılığı derece matrisi (FMC, 2000)

Derece	Hatanın Müşteriye Yansımaya Olasılığı
10	1
9	1/2
8	1/3
7	1/10
6	1/20
5	1/50
4	1/100
3	1/1.000
2	1/10.000
1	1/100.000

Tablo 1.8. Hata saptama matrisi (FMC, 2000)

Saptama	Kriter	Muayene Türü			Önerilen saptama metodları aralığı	Derece
		A	B	C		
Hemen hemen imkansız	Saptama imkânı yok			X	Saptanamaz veya kontrol edilemez	10
Çok zor	Mevcut kontrollerin hata türünü saptaması çok zordur.			X	Sadece dolaylı veya rasgele denetimler ile kontrol edilebilir.	9
Zor	Mevcut kontrollerin hata türünü saptaması zordur.			X	Yalnız göz denetimi ile kontrol edilebilir.	8
Çok az	Mevcut kontrollerin hata türünü saptaması çok azdır.			X	Yalnız iki kere göz denetimi ile kontrol edilebilir.	7
Az	Mevcut kontrollerin hata türünü saptaması azdır.		X	X	Yalnız çizelge yöntemleriyle kontrol edilebilir	6
Orta	Mevcut kontrollerin hata türünü saptaması orta derecededir.		X		Kontrol istasyon dışına çıktığı zaman ayarlanabilir master ile veya istasyon dışına çıkan parçaların %100'ü üzerinde yapılan geçer geçmez mastarı kontrolü ile yapılır.	5
Ortanın üstü	Mevcut kontrollerin hata türünü saptaması orta derecenin üstündedir.	X	X		Birbirini takip eden işlemlerde hata saptaması veya kurulma ve ilk parça kontrolü sırasında yapılan master kontrolü ile yapılır.	4
Yüksek	Mevcut kontrollerin hata türünü saptaması yüksektir.	X	X		İstasyonda hata saptama veya birbirini takip eden işlemlerde kademeli kabul sistematığı ile hata saptama: tedarik, seçim, kurulum, doğrulama. Uygunsuz parça kabul edilemez.	3
Çok yüksek	Mevcut kontrollerin hata türünü saptaması çok yüksektir.	X	X		İstasyonda hata saptaması. Uygunsuz parça geçemez.	2
Hemen hemen kesin	Mevcut kontrollerin hata türünü saptaması hemen hemen kesindir.	X			Uygunsuz parça yapılamaz çünkü parçanın, süreç/ürün tasarımında tüm olası hatalar incelenmiş.	1

Risk Puanı (RÖS Sayısı) : Risk puanı (öncelik sayısı), hatanın oluşma olasılığı, şiddeti ve saptanabilirlik puanlarının çarpımı şeklinde hesaplanır. Risk puanı, tüm hatalar ve hata nedenleri için izafi bir gösterge niteliği taşır. Yüksek risk puanına sahip olan hata veya nedenleri için ilk adım, gerekli düzeltici faaliyetleri başlatmak ve istatistiksel süreç kontrol uygulamasına geçilmesi olacaktır.

Önerilen Faaliyetler: Öncelikle risk puanının yüksek olduğu hata ya da hata nedenlerini hedef alacaktır. Tavsiye edilen her hangi bir düzeltici faaliyetin amacı;

hatanın oluşma, şiddet ve saptanabilme puanlarını düşürmektir. Faaliyet aşağıda belirtildiği tarzda gerçekleştirilebilir.

Hatanın nedenini elimine etmek veya hata oluşma olasılığını azaltmak için, süreç ve/veya tasarım değişiklikleri gereklidir. Süreçlerde sürekli gelişmeyi sağlamak ve hata oluşumunu önlemek için, bilgi akışında geri beslemeyi sağlamak ve istatistiksel metotları kullanmak suretiyle inceleme ve araştırma çalışmaları gerçekleştirilebilir.

Hatanın şiddetini azaltmak ancak tasarım değişikliği ile mümkün olabilir.

Hatanın saptanabilirliğini arttırmak için, süreç ve/veya tasarım değişiklikleri, mevcut kontrollerin etkinliğini arttırmaya yöneliktir. Genellikle hata tespitine yönelik kontrolleri arttırmak pahalıdır ve kalite geliştirme açısından efektif değildir. Tespit etmeye yönelik kontrollerden ziyade önleme amaçlı kontrolleri geliştirmek esas olmalıdır.

Önerilen Faaliyet Sonrası RÖS Değerinin Hesaplanması: Öngörülen faaliyetlerin gerçekleştirilmesinden sonra, oluşma şiddeti ve saptanabilirlik puanları yeniden tahmin edilerek kayıt edilir. RÖS puanı da bu puanların çarpımı şeklinde yeniden hesaplanarak ilgili haneye yazılacaktır.

RÖS puanı 100'den yukarı çıktığı durumlarda işlem yeniden gözden geçirilerek, tekrar değerlendirme yapılır.

## 2. HTEA UYGULAMASINDA KULLANILAN DEĞİŞİK YÖNTEMLER

Geleneksel HTEA, potansiyel hata türlerinin ve etkilerinin hesaplanmasında ve elimizdeki kıt kaynakların sistem için daha kritik olan hatalara yönlendirmesini amaçlayan ve tüm dünyada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Fakat bu yöntemin bazı eksik yönleri vardır. HTEA, hataların kritikliğini belirlemek için Risk Öncelik Sayısının hesaplanmasını gerektirir. RÖS; genellikle hataların şiddeti, oluşum sıklığı ve saptanabilirliklerinin çarpımıyla bulunur (Pillay ve diğerleri, 2003). Daha önceki bölümlerde hataların şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinin nasıl belirlendiği anlatılmıştı.

Geleneksel HTEA'nın tartışılan en kritik eksikliğinin; risklerinin tamamen farklı olmasına rağmen; şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinden benzer hatta hemen hemen aynı RÖS değerlerinin elde edilmesidir. Örnek olarak iki hata türü düşünelim ve bunların şiddet olasılık ve saptanabilirlik değerleri sırasıyla 2,3,2 ve 4,1,3 olsun. Bu iki hata türünün RÖS değeri de 12 olacaktır. Ama bu iki hata türünün riskleri aynı olmak zorunda değildir. Bu durumda; sistem için çok önemli bir hata türünü ihmal ederek kaynak ve zaman israfına neden olabiliriz. Geleneksel HTEA'nın göze çarpan bir diğer önemli eksikliği de şiddet, olasılık ve saptanabilirlik arasındaki göreceli ilişkiyi ihmal edip bu üç faktörün aynı öneme sahip olduğunu farz ederek hareket etmesidir (Pillay ve diğerleri, 2003).

Geleneksel HTEA'nın bu eksikliklerini ortadan kaldırmak için bir yaklaşım önerilebilir. Bu yaklaşımda bulanık kurallar kullanılarak potansiyel hata türleri sıralanır özellikle farklı risklere sahip olmalarına rağmen aynı RÖS değerlerine sahip hata türleri. Daha sonra analiz genişletilerek şiddet, olasılık ve saptanabilirlik faktörlerine ağırlıklar verilerek durulaştırıcı dilsel terimler ve gri ilişkiler analizi kullanılır (Pillay ve diğerleri, 2003).

## 2.1. Bulanık Kural Tabanı Yaklaşımı

Bu yaklaşımın amacı; şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak yararlı bir yöntem sunmak değil de RÖS değerinin hesaplanmasında geleneksel yöntemin kullanılmasından kaçınmaktır. Bu da uzmanlardan bilgiler toplanarak ve bu bilgileri entegre ederek öznel bir sıralama yöntemi geliştirilerek başarılmıştır (Pillay ve diğerleri, 2003).

Bu yöntemde ilk adım; şiddet, olasılık ve saptanabilirlik kategorileri için üyelik fonksiyonlarının belirlenmesidir. Üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra HTEA süreci geleneksel HTEA' da olduğu gibi beyin fırtınası teknikleri kullanılarak devam eder. Her bir hata türü için dilsel değişkenleri temsil etmek üzere dilsel terimler kullanılır. Daha sonra bulanık kural tabanı kullanılarak dilsel değişkenler, risk önceliklerini temsil eden dilsel terimlere dönüştürülür. Bu dilsel terimler sistem veya bileşenler için tanımlanan potansiyel hata türlerinin risk sıralamasını temsil eder. Sıralama işlemi tamamlandıktan sonra, süreç geleneksel HTEA' da olduğu gibi düzeltici faaliyetlerle son bulur (Pillay ve diğerleri, 2003).

## 2.2. Bulanık Üyelik Fonksiyonu

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

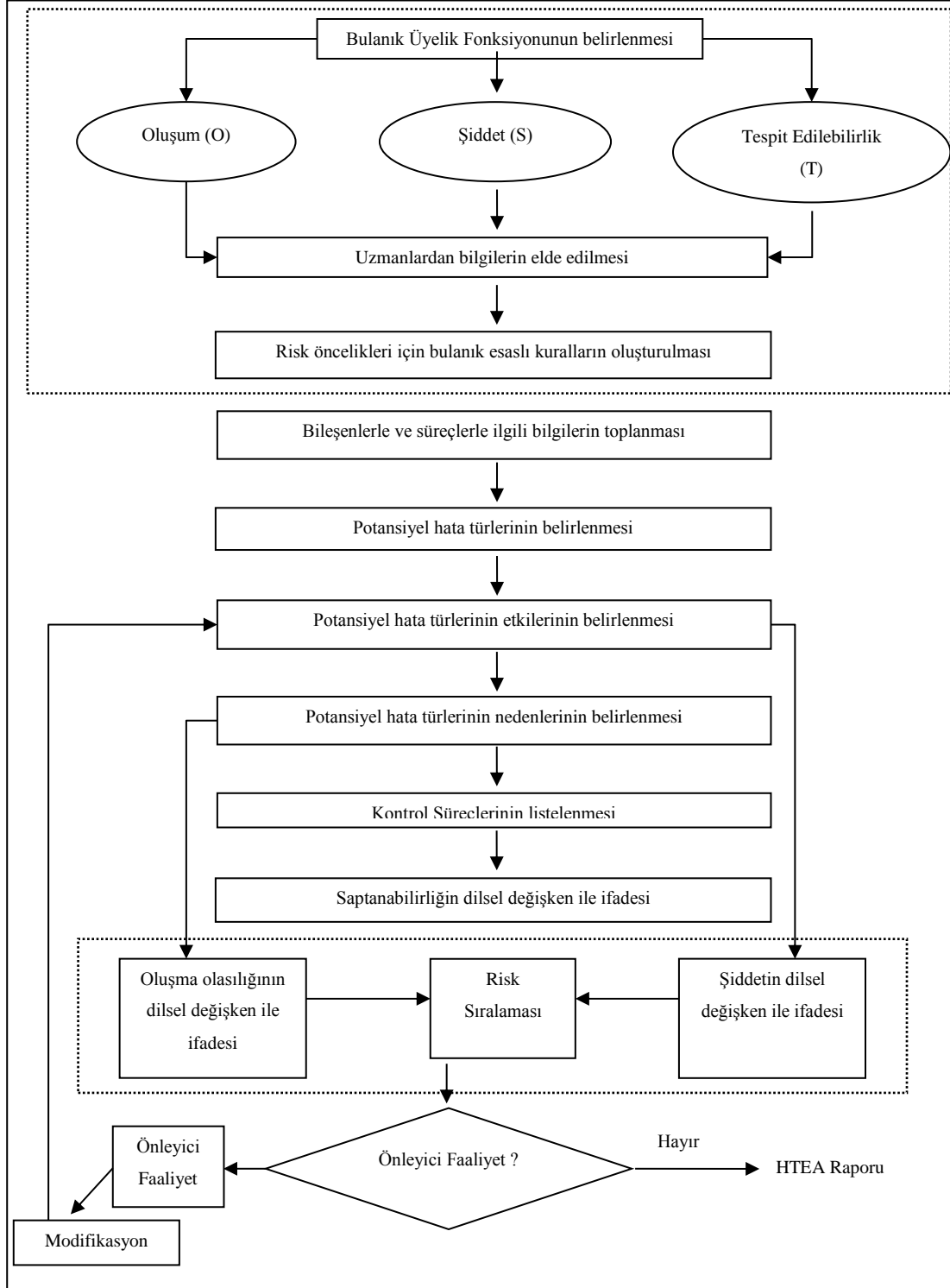
Seçilen uzmanları kullanarak Bulanık kümeler ve Bulanık Üyelik Fonksiyonu şöyle oluşturulur. A; X evrensel kümesinde dilsel değişkenlerle ilgili dilsel terimleri temsil eden bulanık bir küme olsun. n tane uzmana bazı  $x_X$  ler için  $x_A$ 'ya dahildir önermesinin doğru veya yanlış olduğunu incelemek için sorular soralım. Verilen  $x_X$ 'ler için  $a_i(x)$  uzman i'nin cevabını belirtsin ve önerme; uzman i tarafından doğru olarak nitelendirirse  $a_i(x)=1$ , yanlış olarak nitelendirilirse  $a_i(x)=0$  olarak farz ediyoruz. Bu durumda Denklem (2.1)'deki üyelik fonksiyonu oluşur.

$$A(x) = \sum_{i=1}^n (a_i(x))/n \quad (2.1)$$

Uzmanların yetenek ve becerilerinin farklı olduğu durumlarda bu Denklem (2.1), Denklem (2.2)'deki şekli alır;

$\sum_{i=1}^n C_i=1$  olmak üzere

$$A(x)=\sum_{i=1}^n C_i(a_i(x)) \quad (2.2)$$

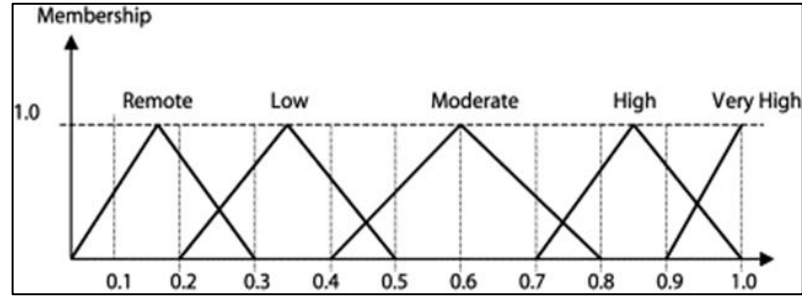


Şekil 2.1. Bulanık kural tabanı yaklaşımının akış diyagramı (Pillay ve diğerleri, 2003)

Bulanık esaslı kurallarda, dilsel değişkenler olarak oluşum sıklığı, şiddet ve saptanabilirlik tanımlanır. Her bir değişken beş farklı dilsel terimle ifade edilebilir. Bunlar; Çok Küçük (Remote), Küçük (Low), Orta (Moderate), Fazla (High), Çok Fazla (Very High)' dir. Bu terimlerin yorumları Tablo 2.1'de görülmektedir. Denklem (2.2) ve bu bilgiler kullanılarak Şekil 2.2'de çizilmiştir.

Tablo 2.1. Dilsel terimlerin yorumları (Pillay ve diğerleri, 2003)

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



Şekil 2.2. Dilsel terimlerin üyelik fonksiyonu (Pillay ve diğerleri, 2003)

### 2.3. Bulanık Esaslı Kuralların Geliştirilmesi

Bulanık Mantık sistemi; insanların bilgilerinden oluşturulan bilgi esaslı veya kural esaslı bulanık EĞER-İSE kuralları formatındaki yapılardır (Wang, 1995). EĞER-İSE şeklindeki kuralların EĞER ile İSE kelimeleri arasında kalan kısımlara öncül kısım ve İSE kelimesinden sonra olan kısma da soncul kısım veya kural çıkarımı adı verilir.

Genel olarak, öncül kısımda olayla ilgili koşulları içeren deyişler vardır. Soncul kısım ise daha ziyade kontrol ile ilgilidir (Şen, 2001). Öncül kısım olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinden oluşur. Soncul kısım ise risk önceliği dilsel değişkenini tanımlayan dilsel terimler Çok Az, Az, Orta, Yüksek, Çok Yüksek'ten oluşur.

HTEA için bulanık kural tabanı belirlemek için üç kategoriye yani şiddet, olasılık ve saptanabilirliği temsil eden dilsel terimlerin kombinasyonları uzmanlara sorularak onların risk önceliğini değerlendirmeleri istenir. Örnek verecek olursak; "Eğer olasılık çok küçük, şiddet çok küçük ve saptanabilirlik küçük ise risk önceliği çok azdır." Örneği verilebilir.

Bu şekilde üç dilsel değişken ve beş dilsel terim olduğu için 125 tane kural yazılır. Fakat bu kuraların bazıları kural sayısını azaltmak için birleştirilebilir (Pillay ve diğerleri, 2003).

#### **2.4. Risk Önceliği Sıralaması**

Çok sayıda durulaştırma yöntemi geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanı Ağırlıklı Ortalamaların En Büyüğü (WMoM) yöntemidir. Bu yöntemde, her bir bulanık sonucun gerçek değeri ağırlıklandırılarak bulunan maksimum olabilirlik değeri ortalaması alınır (Wang, 1995).

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

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

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

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

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

## 2.5. Karşılaştırmalı ve Standart Seriler

### 2.5.1. Karşılaştırmalı seriler

n tane bileşenden veya karar faktöründen oluşan  $x_i=(x_i(1),x_i(2),\dots,x_i(k))$  X, ve  $x_i(k)$ 'nin  $x_i$ 'nin k'ncü faktörü olduğu bilgisini ihtive eden serilerdir. Karşılaştırmalı seriler; çeşitli dilsel terimlerle karar faktörlerini yansıtır. Karşılaştırmalı seriler matris şeklinde Denklem (2.3)'teki gibi gösterilebilir.

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & \dots & X_1(k) \\ X_2(1) & X_2(2) & \dots & X_2(k) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_n(1) & X_n(2) & \dots & X_n(k) \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

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

HTEA uygulamasında  $x_i(k)$  değerleri kesin değerleriyle ifade edilir. Örnek olarak üç hata türünü düşünelim ve bu hata türlerinin tanımlayıcı bilgileri Tablo 2.2'deki gibi olsun.

Tablo 2.2. Hata türlerinin tanımlayıcı bilgileri (URL – 3)

Hata Türü	Oluşma Olasılığı	Şiddet	Saptanabilirlik
A	Küçük(0,196)	Küçük (0,196)	Düşük(0,370)
B	Orta(0,583)	Çok Yüksek(0,952)	Yüksek(0,804)
C	Küçük(0,196)	Düşük(0,370)	Çok Yüksek(0,952)

Bu değerlerden karşılaştırmalı seriyi aşağıdaki gibi elde ederiz.

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Küçük} & \text{Küçük} & \text{Düşük} \\ \text{Orta} & \text{Çok Yüksek} & \text{Yüksek} \\ \text{Küçük} & \text{Düşük} & \text{Çok Yüksek} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,196 & 0,196 & 0,370 \\ 0,583 & 0,952 & 0,804 \\ 0,196 & 0,370 & 0,952 \end{bmatrix}$$



### 2.5.2. Standart seriler

Standart Seriler ideal düzeni yani istenilen düzeni gösteren amaç serileridir. HTEA çalışmalarında karar faktörleri için oluşturulan standart seriler en küçük değerlerden oluşur.  $(x_0=(x_0(1),x_0(2),\dots,x_0(k))=(\text{Küçük},\text{Küçük},\dots,\text{Küçük}))$ .

Bunu karşılaştırmalı serilerde olduğu gibi matris form şeklinde gösterelim.

$$\begin{bmatrix} A0 \\ B0 \\ C0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Küçük} & \text{Küçük} & \text{Küçük} \\ \text{Küçük} & \text{Küçük} & \text{Küçük} \\ \text{Küçük} & \text{Küçük} & \text{Küçük} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,196 & 0,196 & 0,196 \\ 0,196 & 0,196 & 0,196 \\ 0,196 & 0,196 & 0,196 \end{bmatrix}$$

### 2.5.3. Fark

Karşılaştırmalı seriler ile standart seriler arasındaki Fark,  $D_0$  , Denklem (2.4)'teki gibi matris form şeklinde hesaplanır.

$$D_0 = \begin{bmatrix} \Delta_{01(1)} & \Delta_{01(2)} & \Delta_{01(3)} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \Delta_{m(1)} & \dots & \Delta_{m(3)} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$\Delta_{0j}(k)=|x_0(k)-x_j(k)|$  ve  $x_0(k)$  standart seri ;  $x_j(k)$  karşılaştırmalı seri

$$D_0 = \begin{bmatrix} |0,196-0,196| & |0,196-0,196| & |0,196-0,370| \\ |0,196-0,583| & |0,196-0,952| & |0,196-0,804| \\ |0,196-0,196| & |0,196-0,370| & |0,196-0,952| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0,174 \\ 0,387 & 0,756 & 0,608 \\ 0 & 0,174 & 0,756 \end{bmatrix}$$

### 3. GRİ SİSTEM TEORİSİ VE GRİ İLİŞKİ ANALİZİ

Disiplinler arası bir yaklaşım olan gri sistem teori ilk olarak 1980’li yılların başında Deng tarafından belirsizliğin sayılaştırılmasında alternatif bir metot olarak ortaya atılmıştır. Ortaya çıkışındaki temel düşünce stokastik veya bulanık yöntemlerle üstesinden gelinemeyen belirsiz sistemlerin davranışlarını, sınırlı sayıda veri yardımı ile tahmin etmektir. Olasılık ve istatistik, bulanık matematik ve gri sistem teori deterministik olmayan sistemler için yapılan çalışmalarda kullanılan en yaygın yöntem ve teorilerdir. Farklı tipteki belirsizliklerle uğraşmalarına rağmen bu teorilerin ortak noktası, eksik bilgi ve belirsizliğin olduğu durumlarda anlamlı sonuçlar çıkarabilme gücüne sahip olmalarıdır. Bulanık matematiğin gücü, tanımsal belirsizliğe sahip problemlere çözüm bulabilmesinde yatmaktadır. Bulanık matematik kullanılarak incelenen bütün nesnelere belirgin içsellik, belirgin olmayan uzantı karakteristiğine sahiptirler. Örneğin “genç adam” bulanık bir kavramdır. Genç adam denildiğinde neyin kastedildiğini herkes bilir ancak tam olarak hangi yaş aralığındaki insanların bu tanımlamaya uyduğunu söylemek oldukça güçtür. Bulanık matematikten farklı olarak gri sistem teori ile incelenen nesnelere belirgin uzantı, belirgin olmayan içsellik karakteristiğine sahiptirler. Örneğin “T.C Hükümeti, ülke nüfusunu 2050 yılına kadar 90 ile 100 milyon arasında tutmayı planlıyor” ifadesindeki 90 ile 100 milyon aralığı, gerçek değeri hakkında herhangi bir bilgi sahibi olmadığımız ancak sınırları kesin olarak bilinen bir gri kavramdır. Olasılık ve istatistik ise olasılıklı belirsizlik problemlerinin çözümünde kullanılır. Çözüm arayışında gayretinin çoğunluğunu geçmiş verilerde var olan istatistiksel seyri ortaya çıkartmak için kullanır. Bu teori güvenilir sonuçlar üretebilmek için aynı dağılımdan geldiği varsayılan yeterince büyük bir örnekleme ihtiyacı duyar. Diğer iki teoriden farklı olarak gri sistem teori, küçük örneklem ve zayıf bilginin yer aldığı problemlere çözüm bulabilmek için geliştirilmiştir. Aşağıdaki Çizelgede üç teori arasındaki farklılıklar özet olarak gösterilmiştir. (Köse ve diğerleri, 2010).

Tablo 3.1. Deterministik olmayan yöntemlerin karşılaştırılması (Köse ve diğerleri, 2010)

	Gri Sistem Teori	Olasılık & İstatistik	Bulanık Matematik
Çalışma Alanı	Yetersiz Bilgi	İstatistiksel belirsizlik	Kavramsal belirsizlik
Temel Küme	Gri Belirsiz Kümeler	Kantor kümeler	Bulanık kümeler
Yöntem	Bilgi Kapsamı	Olasılık dağılımları	Üyelik fonksiyonları
Prosedür	Gri Serilerin Oluşturulması	Sıklık dağılımları	Marjinal örneklem
Gereksinim	Herhangi bir dağılım	Belirli dağılımlar	Tecrübe
Amaç	Gerçekçi kurallar	İstatistiksel kanunlar	Kavramsal ifadeler
Karakteristik	Küçük örneklem	Büyük örneklem	Tecrübe

Gri teori ortaya atıldığı ilk günden bu güne kadar geçen yaklaşık 30 yıllık sürede başta endüstri, sosyal sistemler, ekolojik sistemler, ekonomi, trafik, yönetim, eğitim, çevre ve askeri konular olmak üzere pek çok alanda başarı ile uygulanmıştır. Gri sistem teorisi temel olarak sistemler arasındaki ilişkinin analizi, model kurulması, tahmin ve karar problemlerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Gri sistem teori alanında yapılan çalışmaları; gri üretim, gri ilişki analizi, gri modelleme, gri tahmin, gri karar verme ve gri kontrol olmak üzere altı ana başlık altında incelemek mümkündür. (Köse ve diğerleri, 2010).

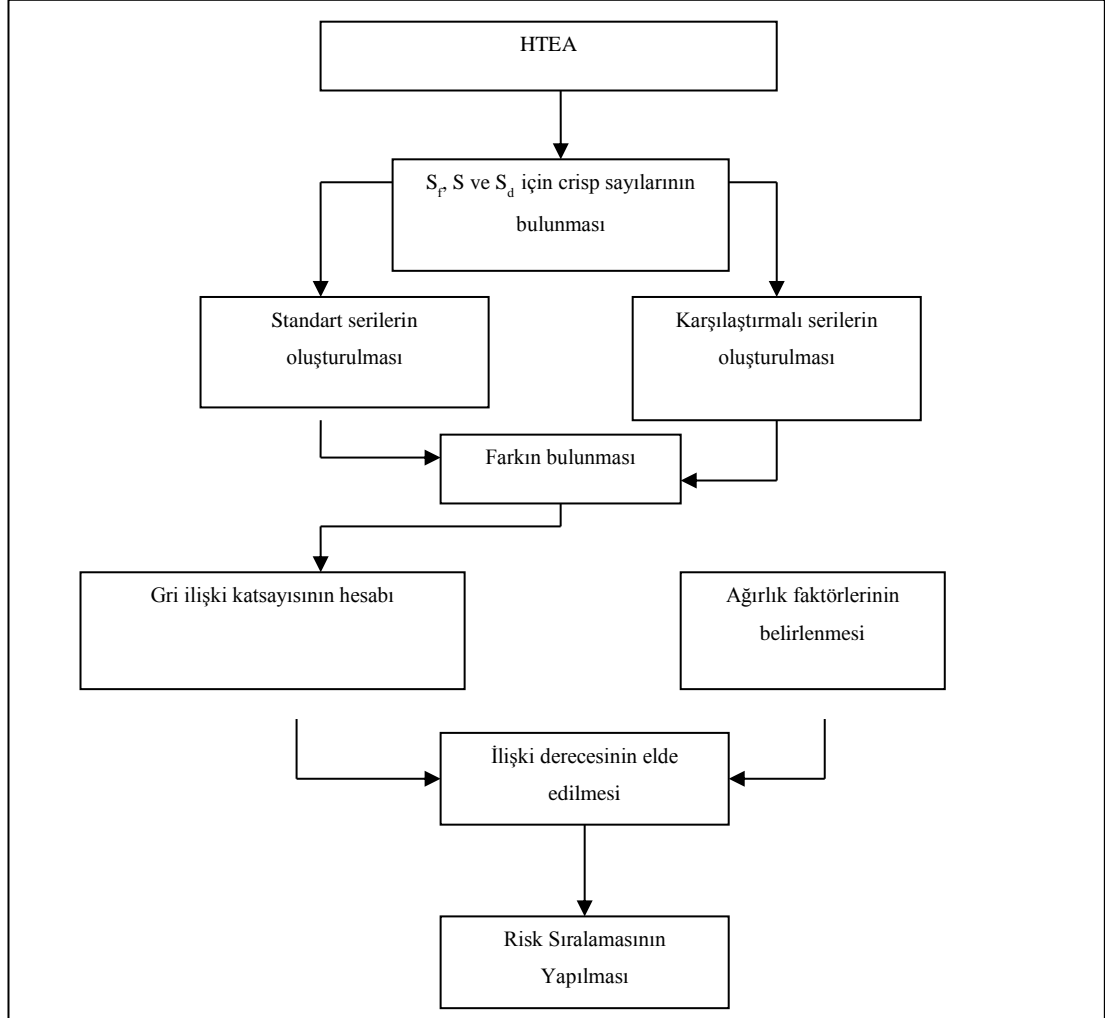
Gri İlişkisel Analizi'nde; siyah, bilgiye sahip olmadığını, beyaz, bilgiye tamamen sahip olduğunu gösterir. Gri sistem ise, siyah ile beyaz arasındaki bilginin seviyesini gösterir. Diğer bir deyişle gri sistemde bazı bilgiler bilinirken bazı bilgiler bilinmez. Beyaz sistemde, sistem içerisindeki ilişkiler arası faktörler kesindir. Gri sistemde ise sistem içerisindeki ilişkiler arası faktörler kesin değildir.

Gri ilişkisel analiz (GİA) gri modellemenin alt başlıklarından biridir. GİA gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör (referans serisi) serisi arasındaki ilişki derecesini belirlemeye yarayan bir metottur. Her bir faktör bir dizi (satır veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak isimlendirilir. (Yılmaz, 2010)

### 3.1. Gri Teori Yaklaşımı

Gri sistem teorisi Deng tarafında 1982 yılında ortaya atılmış ve geliştirilmiştir. Gri sistemlerde operasyonlarla ve davranışlarla ilgili bilgiler ne tam olarak bilinmemektedir ne de tam olarak bilinmemektedir. Gri teori; sistem davranışlarını, ilişkiler analizini

ve modellendirmeyi kullanarak tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca yeterli olmayan bilgilerden yararlanarak karar verme süreciyle de ilgilenir (Pillay ve diğerleri, 2003).



Şekil 3.1. Gri teori yaklaşımı akış diyagramı (Pillay ve diğerleri, 2003)

Şekil 3.1'deki akış diyagramı hata türlerini sıralamak için kullanılan gri teori yaklaşımını özetlemektedir. Bu yaklaşımda ilk adım; şiddet, olasılık ve saptanabilirlik için üyelik fonksiyonun oluşturulmasıdır. Her bir dilsel değişken beş dilsel terimle ifade edilebilir. Beyin fırtınası yöntemiyle tüm olası hata türleri ve nedenleri belirlendikten sonra şiddet olasılık ve saptanabilirlik faktörleri dilsel terimlerle ifade edilir. Bir sonraki adım her bir dilsel terimi ifade eden kesin sayılarının bulunmasıdır.

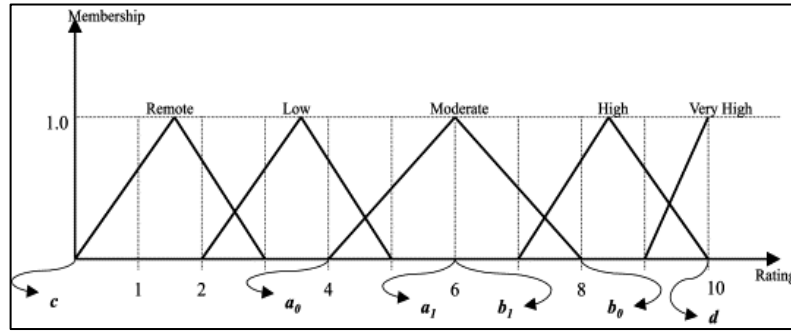
Daha sonra karşılaştırmalı seriler ve standart seriler oluşturulur ve bunlar bir matris halinde gösterilir. Bu iki matrisin farkı bulunur ve bu fark gri ilişki katsayısını bulmak için kullanılır. Gri ilişki katsayısı ve dilsel değişkenlerin ağırlıklı faktörleri gri ilişki derecesini hesaplamak için kullanılır. Bu derece HTEA'daki her bir hata türünün sıralamasını verir (Pillay ve diğerleri, 2003).

Chen ve Klien bulanık kümelerin kesin sayısını bulmak için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem Denklem (3.1)'de gösterilmektedir.

$$K(x) = (\sum_{i=1}^n (b_i - c) / (\sum_{i=1}^n (b_i - c) - \sum_{i=1}^n (a_i - d)) \quad (3.1)$$

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

$$K(x) = \frac{(b_0 - c) + (b_1 - c)}{[(b_0 - c) + (b_1 - c)] - [(a_0 - d) + (a_1 - d)]} = \frac{(8 - 0) + (6 - 0)}{[(8 - 0) + (6 - 0)] - [(4 - 10) + (6 - 10)]} = 0,583$$



Şekil 3.2. Dilsel değişken orta (Moderate)'nın durulaştırılması (Pillay ve diğerleri, 2002)

### 3.2. Gri İlişki Katsayısı

Gri İlişki Katsayısı,  $\gamma\{x_0(k), x_i(k)\}$ , Denklem (3.2) kullanılarak hesaplanır.

$$\gamma(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \epsilon \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \epsilon \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (3.2)$$

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

$$\gamma_f = \frac{0+[(0,5)(0,756)]}{0+[(0,5)(0,756)]} = 1,0$$

$$\gamma_s = \frac{0+[(0,5)(0,756)]}{0+[(0,5)(0,756)]} = 1,0$$

$$\gamma_d = \frac{0+[(0,5)(0,756)]}{0,174+[(0,5)(0,756)]} = 0,684$$

Aynı şekilde B ve C için de hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Gri ilişki katsayı tablosu (Pillay ve diğerleri, 2003).

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

### 3.3. Gri İlişki

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

$$\sum_{k=1}^n W_k = 1 \quad (3.3)$$

Ağırlık katsayısının hata türlerinin sıralanmasında çok büyük etkisi vardır. Bu nedenle HTEA çalışmasında yer alan uzmanlardan tarafında çok dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Gri ilişki derecesi Denklem (3.4) ile hesaplanır.

$$\tau(X_i, X_j) = \sum_{k=1}^n W_k \gamma\{X_i(k), X_j(k)\} \quad (3.4)$$

Örneğimizdeki ; oluşum  $\beta_f$ , şiddet  $\beta_s$  ve saptanabilirlik  $\beta_d$  değerleri 0,4, 0,4 and 0,2 olsun ve Hata türlerinin gri ilişki derecelerini hesaplayalım.

$$\tau_A = \{((0,4)(1)) + ((0,4)(1)) + ((0,2)(0,684))\} = 0,9368$$

$$\tau_B = \{((0,4)(0,494)) + ((0,4)(0,333)) + ((0,2)(0,383))\} = 0,4074$$

$$\tau_C = \{((0,4)(1)) + ((0,4)(0,684)) + ((0,2)(0,333))\} = 0,7402$$

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

### 3.4. Gri İlişkisel Analiz Metodu

Gri ilişkisel analiz metodunun hesaplama adımları aşağıdaki gibidir. (Yılmaz, 2010)

1. Adım: n uzunluğundaki referans seri aşağıdaki gibi olsun.

$$X_o = (X_o(1), X_o(2), X_o(3), \dots, X_o(n)) \quad (3.5)$$

2. Adım: Verilerin normalize edilmesi

Faktörlerin farklı kaynaklardan geldiği, farklı birimlerde ölçüldüğü düşünüldüğünde GİA' nın ilk adımı verilerin aynı birime dönüştürülmesidir. Ayrıca serinin çok geniş aralıklarda değerler aldığı durumlarda standartlaştırmayla verilerin küçük bir aralığa çekilmesinde de fayda vardır. Gri sistem teorisinde bu normalleştirme projesine “gri ilişkisel oluşum (grey relational generating)” adı verilmektedir. Verilerin normalizasyonunda en sık kullanılan yöntemlerden birisi lineer veri önileme metodudur.

Faktör serilerinin normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken “daha yüksek daha iyi”, “daha düşük daha iyi” ve “en ideal en iyi” kriterlerinden hangisinin serinin özelliğini yansıttığıdır. Örneğin serideki noktaların küçük değerler olması istenen bir özellik ise lineer normalizasyonda küçük değer alan noktalar normalizasyonda “1”e yakın değerler alırken, büyük değer alan noktalar “0”a yakın değerler alacaktır. “Daha yüksek daha iyi” durumunda normalizasyon Denklem (3.6)’daki gibidir.

$$X_i(k) = \frac{X_i^o(k) - \min X_i^o(k)}{\max X_i^o(k) - X_i^o(k)} \quad (3.6)$$

$X_i^0(k)$ , i serisi k. sıradaki orjinal değer,  $X_i(k)$  i normalizasyon sonrası i. seri k. Sıradaki değer,  $\min X_i^0(k)$  i serisindeki minimum değer,  $\max X_i^0(k)$  i serisindeki maksimum değerdir.

“Daha düşük daha iyi” için Denklem (3.7)’deki gibidir;

$$X_i(k) = \frac{\max X_i^0(k) - X_i^0(k)}{\max X_i^0(k) - \min X_i^0(k)} \quad (3.7)$$

“İdeal değer daha iyi” için Denklem (3.8)’deki gibidir ;

$$X_i(k) = 1 - \frac{|X_i^0(k) - X^0|}{\max X_i^0(k) - X^0} \quad (3.8)$$

Burada  $X^0$  istenilen ideal değeri göstermektedir.

3. Adım:  $X_0$  serisi ile karşılaştırılacak m tane seri Denklem (3.9)’da tanımlanmış olsun.

$$X_i = (X_i(1), X_i(2), X_i(3), \dots, X_i(n)) \quad i=1, 2, \dots, m \quad (3.9)$$

4. Adım: k, n uzunluğundaki serideki k. Sırayı gösterebilir.  $\varepsilon(X_0(k), X_i(k))$ , k. noktadaki gri ilişkisel katsayı olup Denklem (3.10), (3.11), (3.12) ve (3.13)’e göre hesaplanır.

$$\varepsilon(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \quad (3.10)$$

$$\Delta_{oi}(k) = |X_0(k) - X_j(k)| \quad (3.11)$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k |X_0(k) - X_j(k)| \quad (3.12)$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k |X_0(k) - X_j(k)| \quad (3.13)$$

$\zeta \in (0,1)$  arasındaki bir katsayıdır.  $j=1, 2, \dots, m$ ;  $k=1, 2, \dots, n$ .  $\zeta$  işlevi,  $\Delta_{oi}$  ile  $\Delta_{\max}$  arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar  $\zeta$  değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir.

5. Adım: Son olarak gri ilişkisel derece ise Denklem (3.14) ile hesaplanır;



$$\gamma(X_o, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(X_o(k), X_i(k)) \quad (3.14)$$

$\gamma(X_o, X_i)$  gri bir sistemdeki  $X_i$  serisi ile  $X_j$  referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Gri ilişkisel derecesinin büyüklüğü  $X_i$  ile  $X_o$  arasında kuvvetli bir ilişki olduğunun göstergesidir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise gri ilişkisel derece değeri 1 olarak bulunur. Gri ilişkisel derece karşılaştırılan serinin referans seriye ne kadar benzer olduğunu gösterir.

Eğer her bir kriterin ağırlıkları verildiyse, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin önem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir. Bu Denklem (3.15)'e göre hesaplanır.

$$\gamma(X_o, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(X_o(k), X_i(k) \cdot (W_i(k))) \quad (3.15)$$

Karar verme probleminde referans seri, kriterlerin alması istenen en büyük, en küçük ve en ideal değerler olarak seçilirse, karşılaştırması yapılacak faktör serinin referans seriye göre hesaplanacak gri ilişkisel derecesi kriterleri yakalama seviyesinin bir göstergesi olacaktır. Diğer bir deyişle gri ilişkisel derecesi en yüksek olan faktör serisi (alternatif) karar verme probleminde en iyi karar verme alternatifini gösterecektir.

## 4. HTEA İLE GRİ SİSTEMİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ

### 4.1. Standart (Referans) Serilerinin Belirlenmesi

Standart seriler olarak adlandırılan k uzunluğundaki amaç serileri

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(k)\} \quad (4.1)$$

şeklinde gösterilmektedir. Küçük puanın daha küçük riski gösterdiğinden dolayı standart seriler tüm risk faktörlerinin en küçük değerlerini alarak belirlenir (Girginer ve diğerleri, 2014).

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(k)\} = \{1, 1, \dots, 1\} \quad (4.2)$$

### 4.2. Karşılaştırmalı Serilerin Saptanması

Ortaya çıkma olasılığı, keşfedilme olasılığı ve hatanın şiddetiyle ilgili m tane bilgi serisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(k)\} \quad (4.3)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$X_i(k)$ ;  $X_i$ 'nin k. faktörünü gösterir. Eğer bütün bilgi serileri kıyaslanabilir ise, n bilgi serisi aşağıdaki matriste olduğu gibi tanımlanabilir (Girginer ve diğerleri, 2014).

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & X_1(k) \\ X_2(1) & X_2(1) & X_2(1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n(1) & X_2(1) & X_2(1) \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

### 4.3. Karşılaştırmalı Seriler ve Standart Seriler Arasındaki Farklılığın Elde Edilmesi ve Katsayı Değerinin Hesaplanması

Bulanık ilişki derecesini ortaya çıkarmak için, karar faktörleri puanı ve standart seriler modeli arasındaki farklılık belirlenir.

Her üç risk faktörü, her bir hata serisi için standart serilerle karşılaştırılır ve ilişki katsayısı aşağıdaki formülle açıklanır;

$$\gamma(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + (\zeta \Delta_{\max})}{\Delta_{0j}(k) + (\zeta \Delta_{\max})} \quad (4.5)$$

Burada  $j=1, \dots, m$  ve  $k=1, \dots, n$

$X_0(k)$  ; standart seriler,  $X_j(k)$  ; karşılaştırmalı seriler

$$\Delta_{\min} = \min_{j \in i} \min_k \|X_0(k) - X_j(k)\| \quad (4.6)$$

$$\Delta_{\max} = \max_{j \in i} \max_k \|X_0(k) - X_j(k)\| \quad (4.7)$$

$\zeta \in (0,1)$  arasındaki bir katsayı olarak belirlenmiştir. Maksimum değer ilişki katsayısına etkisini azaltmak amacıyla, genellikle bu katsayı  $\zeta = 0,5$  olarak alınmaktadır. Bu katsayının amacı  $\Delta_{0j}(k)$  ve  $\Delta_{\max}$  arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar  $\zeta$  değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir (Girginer ve diğerleri, 2014).

### 4.4. Gri İlişki Derecesinin Belirlenmesi

Gri ilişki derecesi, karşılaştırmalı seriler ile standart (referans) seri arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. İlişki derecesinin büyüklüğü, karşılaştırmalı ve standart seri arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise, gri ilişki derecesi 1 olarak bulunur. Gri ilişkisel derece, karşılaştırılan serinin standart (referans) seriye ne kadar benzer olduğunu göstermektedir (Üstünışık, 2007).

$$\tau(X_0, X_j) = \frac{1}{n} \sum \gamma(X_0(k), X_j(k)) \quad (4.8)$$

n; karar faktör sayısıdır (Girginer ve diğerleri, 2014).

Eğer her bir kriterin ağırlıkları verildiyse, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin önem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir (Kuo, ve diğerleri, 2008).

$$\tau(X_0, X_j) = \frac{1}{n} \sum \gamma(X_0(k), X_i(k)) W_i(k) \quad (4.9)$$

Burada  $W_k$  ; faktörlerin ağırlıklandırma katsayısı ve

$$\sum_{k=1}^n W_k = 1 \text{ 'dir.} \quad (4.10)$$

Klasik HTEA hatanın oluşum sıklığı, tespit edilebilirlik ve şiddetini gerçek dünyaya uygun biçimde atamayabilir. HTEA'ya gri yaklaşım ise mühendislerin, araştırma ve üretim stratejilerine dayanarak karar faktörlerine nisbi ağırlıklar atanmasına olanak sağlar. (Sofyalıoğlu, 2011)

#### **4.5. Risk Önceliğinin Sıralanması**

Karar verme problemlerinde standart (referans) seri ideal seri olarak seçildiğinde, karşılaştırması yapılacak faktör serilerinin referans seriye göre hesaplanacak gri ilişki derecesi kriterleri yakalama seviyesinin bir göstergesi olacaktır. Diğer bir ifadeyle gri ilişki derecesi en yüksek olan faktör serisi (alternatif) karar verme probleminde en iyi karar alternatifini gösterecektir. (Sofyalıoğlu, 2011)

Diğer bir deyişle  $\gamma(X_0, X_i) \geq \gamma(X_0, X_j)$  ise  $X_i$  ve  $X_0$  arasındaki ilişkinin  $X_j$  ve  $X_0$  arasındakinden daha büyük olduğu söylenebilir. HTEA için bu potansiyel neden puanları ve karar faktörlerinin optimal değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Daha büyük ilişki derecesi hata kaynağının daha küçük etkisini gösterir. Bu yüzden giderek artan sırayla ilişki derecesi, iyileştirilecek olan potansiyel nedenlerin risk önceliğindeki azalmayı gösterir (Sofyalıoğlu, 2011)

## 5. UYGULAMA

Problemlerin bulunması ve çözüm sıralarının karar verilmesinde HTEA uygulamalarına literatürde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Daha önceki bölümlerde aktarıldığı gibi hataların çözüm sırasına karar vermede dilsel yöntemlerden matematiksel yöntemlere geçiş aşamasında yardımcı olan Gri Sistem kullanımı ile Ford Otosan V34X Transit Montaj hattındaki problemler incelenmiş, çözümlerinin sıraları belirlenmiş ve çözüm yöntemleri sunulmuştur. Problemlerin seçiminde öncelikle HTEA uygulaması yapılmış, daha sonra çıkan sonuçlar üzerine Gri Sistem yaklaşımı uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Hata Türleri ve Etkileri Analizi üretim sistemlerindeki hataların analizinde ve sonraki oluşabilecek hataların engellenmesinde kullanılan sistematik bir analiz tekniğidir. Otomotiv de dahil olmak üzere çoğu üretim sektöründe aktif olarak kullanılan HTEA, müşteri ihtiyaç ve beklentilerine olumlu bir yaklaşım sağlar. HTEA sistematik bir analiz tekniği de olsa sezgilere dayanan bir yöntemdir ve bu yönüyle matematiksellikten uzaklaşır. Bu da HTEA'da bazı eksikliklere ve kısıtlamalara yol açmaktadır.

Gri sistem teorisi, bir karar verme ve analiz aracıdır. Eksik veya tamamlanmamış bilgiler altında belirsizlik problemlerini çözmede yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. HTEA'daki sezgisel yaklaşım bilginin kesinliğini ortadan kaldırarak belirsizlik durumu oluşturmaktadır. Ayrıca risk önceliğinin belirlenmesinde Gri Teori önemli rol oynayarak HTEA'nın kısıtlamalarını ortadan kaldırmaya yardımcı olur ve veriler arası kıyaslamayı daha etkin kılar.

Sonuç olarak projede, klasik HTEA'nın eksiklik ve kısıtlamaları Gri Sistem teorisi ile giderilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda Gri Sistem Teorisi ile desteklenmiş HTEA'nın Ford OTOSAN Montaj Müdürlüğü V34X hattında denenerek V363 hattında uygulamaya konulması, gelişmiş bir hata analizi ve hata önleme projesi hayata geçirilmesi istenmiştir.

## 5.1. Firma Tanıtımı

Resmî olarak 1959 yılında kurulan Ford Otosan, Türkiye de Otomobil sanayinin gelişmesinde çok önemli bir rol oynamış, kısa sürede araba montaj fabrikasından üretim merkezi konumuna gelmeyi başarmıştır. 1966 yılında seri üretimine başladığı Anadol Marka Otomobil ile Türkiye de otomotiv sanayinin ilk tohumlarını eken şirkettir.

1928 yılında Vehbi Koç, Ankara da kurduğu Otokoç firması ile Ford Motor Company nin distribütörlüğünü almıştır ve 75 senelik bir serüvenin başlangıcını oluşturmuştur. 1946 yılında Koç grubu resmen Ford Motor Company nin Türkiye temsilcisi olmuştur.

Anadol'un yaratım fikri, ilk olarak 1963 yılında Rahmi Koç ve Bernar Nahum tarafından gündeme getirilmiştir. 22 Aralık 1965 tarihinde İngiltere den kara yoluyla Türkiye ye ulaşan ilk prototipi denenmiştir. Bu otomobile ismini koymak için Türkiye çapında ödüllü bir yarışma düzenlenmesine karar verilmiştir. Gelen 150000'e yakın mektupta teklif edilen isimler, elenerek 3'e indirilmiştir. "Anadol", "Anadolu" ve "Koç" isimlerinden "Anadol" ismi seçilmiştir.

İlk Anadol, 1966 Aralık'ında Otosan kapısından çıkmıştır. Onu, üretiminin devam ettiği 1984 yılına kadar 62923 adet binek ve 49964 adet pick-up Anadol takip etmiştir. Anadol'un lokomotifliğinde ortaya çıkan yana sanayi kuruluşları da faaliyetlerini geliştirerek zamanla büyümüşlerdir.

Ford ve Otosan arasındaki kuruluş anlaşmasında Otosan'ın Ford'u temsil etme hakkı tanınmamıştı. Ford'un Otosan ile ilişkilerinde dönüm noktası 1976 yılında imzalanan lisans anlaşması ile başlar. Bu anlaşma ile Otosan D-1210 Ford kamyonu ile Transit serisinin Türkiye de imal ve satış hakkını almakta ve bir motorun geliştirilmesi iznine sahip olmaktaydı. D-1210 serisi Ford Kamyonu, üretim yeri İstanbul olarak 56126 adet üretilmiştir.

1979 yılında temeli atılan İnönü Fabrikası'nda motor hatları kurulmuş, 1982 yılında Türkiye nin ilk dizel motoru üretilmiş ve Ford Almanya'ya motor parçaları ihraç edilmiştir. İnönü yatırımının amacı yerli üretimi arttırarak döviz ihtiyacını minimuma

indirmek ve daha yüksek kalitede üretim yapmaktı. Özellikle üzerinde durulan diğer bir konu ise Otosan ın ticari araç üretim kapasitesini arttırmaktı.

Eskişehir İnönü fabrikasının ticari üniteler bölümü 1983 yılında İstanbul fabrikasından parça parça taşınmıştır. Cargo kamyonunun imalatı Eylül 1984 ayından itibaren tamamen bu fabrikada yapılmaya başlanmıştır.

Ford ve Otosan ortaklığının ardından saç gövdeli bir binek otomobilin üretilmesi için görüşmelere başlanmıştır.

Ortaklık anlaşmasının yürürlüğe girmesinden sonra saç otomobil yapımı için çalışmalara hız verilmiştir. Bu otomobile ait kalıplar Ford'un İngiltere ve Almanya'daki fabrikalarından Otosan'a gelmiştir. İstanbul fabrikasının montaj hatları tamamen değiştirilmiştir. Yeni ve modern bir boyahane inşa edilmiştir. İlk Ford Taunus hattan 12 Eylül 1985 günü indirilmiştir. "En İyi Yerli" Ford Taunus'un 1993 yılında üretimine son verildiğinde 50927 adet üretilmiştir.

Ford Taunus üretimi bitirildikten sonra 1993 yılında Ford Escort araçların üretimine başlanmıştır. İstanbul fabrikasında yapılan yenileme çalışmaları sonrasında üretimine başlanan Ford Escort, yerli otomobiller içerisinde başarısını kanıtlayarak. Üretimine bitirildiği 1999 yılının sonuna kadar 41969 adet araç üretilmiştir.

3 Ekim 1997 tarihinde imzalanan bir anlaşma ile Ford ve Otosan hisselerini eşitlemiştir. Böylece Otosan A.Ş. yeni ismiyle Ford Otomotiv Sanayi A.Ş., yani Ford Otosan ortaya çıkmıştır.

1998 yılında açılan Ford Otosan Yedek Parça Dağıtım Merkezi, 18,3 milyon dolarlık yatırımıyla, alanında Türkiye nin en büyük yatırımlarından biridir. 20000 m2'si kapalı stoklama alanı olmak üzere, toplam 70000 m2 lik alanda hizmet vermektedir. Bir çatı altında topladığı 45000 çeşit orijinal Ford yedek parçasının aktif satışının yanı sıra, 24 ülkeye yedek parça ihracatı yapmaktadır.

1997 yılında ortaklık eşitlenmesinden sonra Ford Avrupa'nın ekonomik bulmadığı için askıya aldığı bir proje, Türkiye'nin üretim kabiliyeti ve ekonomik koşulları nedeniyle Türkiye'ye aktarılmıştır. Bu projenin gerçekleştirilebilmesi için 150000 adetlik bir kapasiteye ihtiyaç vardı ve İstanbul fabrikası bunun için uygun değildi.

Böylece yeni bir yer arayışına başlanmıştır. Birkaç alternatif yer değerlendirilmiş, sonunda Gölcük'te deniz yoluna açık bir arsa bulunmuştur.

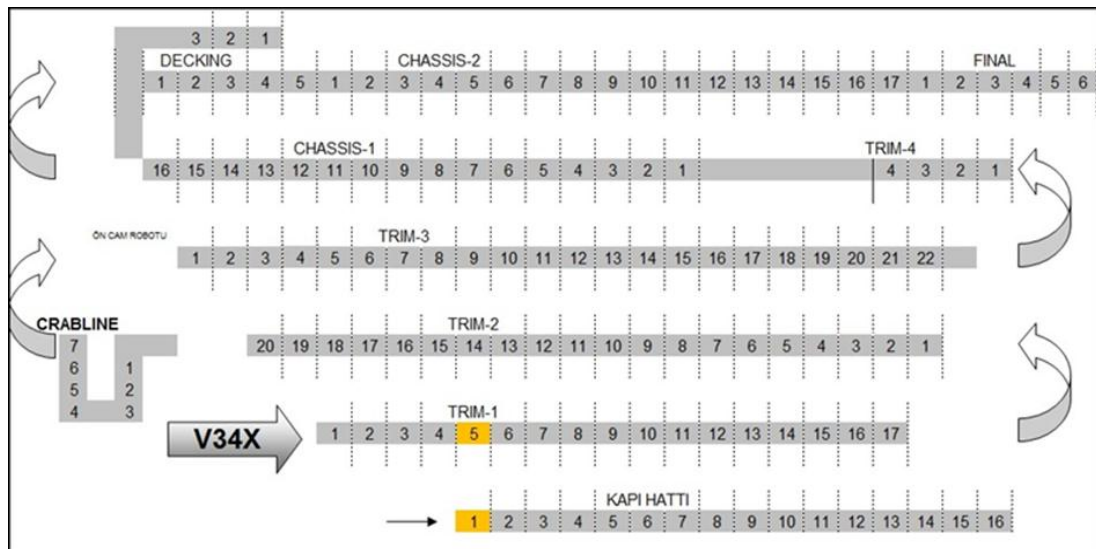
Nisan 2001 tarihinde yapılan törenle Ford Otosan Kocaeli Fabrikası üretime başlamıştır. İlk üretim Yeni Transit ile başlamıştır.

1,6 milyon metrekarelik açık alan üzerinde inşa edilen; pres atölyesi, karoser, boya, montaj işlemlerinin yapıldığı üniteleri ve yan sanayi şirketleri parkının yer aldığı fabrika, araç ihracatında kullanılacak bir rıhtıma da sahiptir.

Ulaşılan bu seviye ile Ford Otosan Kocaeli Fabrikası, Avrupa Ford Fabrikaları arasında oditörler tarafından 2002, 2003, 2004 ve 2005 yıllarında "Best Plant in the World" olarak adlandırılmıştır ve en iyi notu elde ederek birinci olmuştur.

## 5.2. Problemlerin Tanımı

Çalışma Ford Otosan Gölcük Fabrikası Montaj Alan Müdürlüğü'nde uygulamaya alınmıştır. Şekil 5.1'de krokisi verilen Transit Minibüs Hattında problemlerin çözümü için önceliklendirme çalışması Gri Teori yaklaşımı ile HTEA uygulanarak yapılmış, çalışmada çıkan sonuçlar üzerine problemler önceliklendirilerek çözülmüştür. Uygulamada ele alınan problemler, CAL (Müşteri Gözü ile Kontrol Hattı) Kalite Hattı'nın tespit etmiş olduğu problemlerin paretoda en üst seviyelerinde yer alanlardır.



Şekil 5.1. V34X (Transit) montaj hattı krokisi



QLS (Quality Leadership System) Ford Otosan hatlarında kullanılan ve hataların oluşum sıklıklarına ve tespit edildikleri noktalara göre pareto çıkartmaya yarayan bir programdır. Bu program kullanılarak CAL'ın tespit ettiği hataların pareto analizi ve sebep analizi yapılmıştır. QLS çıktısı örneği Şekil 5.2'de görülebilir.

Problem Adedi	Data Toplama Alt Noktası	Data Toplama Noktası	Araç Problemi	Tamir Adetleri	Tamir Analizleri
18		PDI C ARAÇ İÇİ KONTROL-SOL	KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ	18	SOL ÖN KAPI KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK/YIRTIK/AŞINMIŞ TOPLAM
14		PDI C ARAÇ İÇİ KONTROL-SAĞ	KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ	13	SAĞ ÖN KAPI KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK/YIRTIK/AŞINMIŞ
				1	KARGO KAPI KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK/YIRTIK/AŞINMIŞ TOPLAM
7		TR FINAL	KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ	5	SAĞ ÖN KAPI KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK/YIRTIK/AŞINMIŞ
				2	SOL ÖN KAPI KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK/YIRTIK/AŞINMIŞ
				7	TOPLAM

Şekil 5.2. QLS çıktısı örneği

QLS kullanılarak yapılan pareto analizinde karşılaşılan hata ve sebeplerinin oluşum sıklığı sayıları aşağıdaki Tablo 5.1'de verilmiştir. Bulunan bu değerler HTEA uygulamasında "O (Oluşum Sıklığı)" değerinin hesaplanmasında yardımcı olacaktır.

Tablo 5.1. Problem ve tespit noktası adetleri QLS çıktısı

Hata	Bölge	01/06/2013 - 01/07/2013					
		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri
KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK YIRTIK AŞINMIŞ	Basamak	0	4	0	5	0	2
	IP	0	5	0	2	0	0
	Kilit Karşılığı	0	2	0	2	0	0
	Koltuk Montajı	0	0	0	2	0	0
	Operatör	0	0	0	2	0	0
KAPI CAMI SESLİ GÜRÜLTÜLÜ		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri
	Perçin Konumu,	0	88	0	9	0	0
	Baskı Ekipman	0	108	0	20	0	0
	Delik Konumu	0	190	0	20	0	0

Tespit edilen problemlerin tümünün pareto sıralaması ilk iki problem ele alınarak HTEA uygulaması yapılmıştır. Bunlar;

Kapı Açıklığı Fiteli Kesik/Yırtık/Aşınmış problemi, minibüsün ön kapılarının su ve toz girişini engellemek amacı ile montajı yapılan kapı açıklığı fitilinin her hangi bir sebeple her hangi bir yerde hasar görmesi sonucu, kalite kontrol süreçlerinde tespit edilememesi durumunda müşteri açısından memnuniyetsizlik yaratacak bir problemdir. QLS'ten alınan paretoya göre potansiyel sebepleri arasında Basamak Montajı esnasında fitilin yırtılması, IP (Instrument Panel) denilen aracın torpido kısmının takılması esnasında fitilin yırtılması, kapının kapanmasını sağlayan kilit karşılığının montajı esnasında fitilin yırtılması, ön koltuk montajı yapılması için, koltuğun hat kenarı stok alanından, aracın içine alınırken fitile çarpıp hasarlaması ve son olarak herhangi bir operatör hatasından kaynaklı fitil çekilmesi esnasında hasarlanması tespit edilmiştir. Tüm problem ve sebepleri tespit edilerek elde edilen verilere göre pareto analizleri yapılmıştır.

Kapı Camı Sesli/Gürültülü problemi, aracın ön camlarının yukarı aşağı hareketi esnasında, spek dışı rahatsız edici ses ve sarsıntı yaratması problemidir. QLS'ten alınan paretoya göre potansiyel sebepleri arasında; cam mekanizmasının bağlantı perçin konumunun yarattığı etki, camı mekanizma ile birleştiren baskı ekipmanı uygunsuzluğu ve mekanizma demiri üzerinde perçinin bağlandığı deliğin konumu olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.1'de belirtilen tespit noktaları arasında "Hat" noktası, montaj hattının kendi kontrol noktalarında tespit edilen problemlerdir. "Final" noktası aracın montaj konveyörlerinden inmeden hemen önce detaylı kontrolün yapıldığı noktadır. "Pre-CAL" denilen nokta, hat sonrası araç herhangi bir tamire giriyor ise, kalite kontrol hattı öncesi (CAL: Customer Audit Line) kontrol edildiği noktadır. "FCPA: Ford Consumer Product Audit" ise günlük üretilen araçlardan 5 adedinin alınarak çok detaylı kalite kontrol yapıldığı noktadır.

### **5.3. Oluşum, Tespit Edilebilirlik, Ciddiyet (OTC) Hesaplanması**

#### **5.3.1. Oluşum sıklığı (O) hesaplama**

Nedenin ve onun yarattığı hatanın beraberce meydana gelme olasılığıdır. Burada hatayı tespit önlemleri göz önüne alınmaz, bu değerlendirme için sadece hata nedeninin meydana gelmesini önlemek için kararlaştırılan yöntemler dikkate alınır.

Eğer bir süreç İstatistiksel Süreç Kontrol altında ise ya da İstatistiksel Süreç Kontrol teknikleri ile izlenen daha önceki bir sürecin benzeriyse, değerlendirmesi için istatistiksel veriler kullanılmalıdır. Diğer bütün durumlarda, benzer süreçlerdeki var olan eski bilgiler kullanılarak, kelime tanımlarına dayandırılarak soyut bir değerlendirme yapılabilir.

QLS çıktısı alınarak yapılan pareto sonuçlarına göre, tespit edilen sayılar, 1-10 arası değerlere oranlanmıştır. Örneğin 2 hata arasında 70 ve 30 gibi rakamlar mevcut ise 7 ve 3 olarak ağırlıklandırılmıştır. Tablo 5.2’de hesaplanan pareto sayılarına göre hataların yanlarına “O” kolonu açılarak matematiksel ağırlıklandırma ile Oluşum Sıklığı sayıları 1-10 arasında verilmiştir.

Tablo 5.2. QLS pareto verilerine göre "O (oluşum sıklığı)" değerinin hesaplanması

Hata	Bölge	01/06/2013 - 01/07/2013						
		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri	O
KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK YIRTIK AŞINMIŞ	Basamak	0	54	0	55	0	12	10
	IP	0	25	0	32	0	0	7
	Kilit Karşılığı	0	12	0	0	0	0	3
	Koltuk Montajı	0	0	0	12	0	0	3
	Operatör	0	0	0	12	0	0	3
KAPI CAMI SESİLİ GÜRÜLTÜLÜ		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri	O
	Perçin Konumu,	0	88	0	9	0	0	7
	Baskı Ekipman	0	190	0	20	0	0	10
	Delik Konumu	0	109	0	20	0	0	9

### 5.3.2. Tespit edilebilirlik (T) hesaplama

Tespit, malzemenin, alt sistemin veya sistemin üretim hattından ayrılmadan önce geçerli kontrollerinin kullanılarak, oluşabilecek hataların keşfedilmesi için yapılan bir değerlendirmedir. Hatayı oluşmuş gibi varsayıp, geçerli süreç kontrollerinin hatayı müşteriye gitmeden önce tespit edebilme kriterleri değerlendirilmelidir.

QLS çıktısında yer alan paretoda “T” sayısını hesaplamak için hataların tespit edildikleri alana göre puanlama yapılmıştır. “Hat” noktası, montaj hattının kendi kontrol noktalarında tespit edilen problemlerdir. “Final” noktası aracın montaj konveyörlerinden inmeden hemen önce detaylı kontrolün yapıldığı noktadır. “Pre-CAL” denilen nokta, hat sonrası araç herhangi bir tamire giriyor ise, kalite kontrol

hattı öncesi (CAL) kontrol edildiği noktadır. “FCPA” ise günlük üretilen araçlardan 5 adedinin alınarak çok detaylı kalite kontrol yapıldığı noktadır. “T” puanı hesaplarken hat tespiti 1-2, Final tespiti 3-4, Pre CAL tespiti 5-6, CAL tespiti 7-8, FCPA tespiti 9, müşterinin tespit ettiği hatalar 10 olarak puanlanmıştır. Tüm hataların birden çok alanda birden çok sayıda tespit edildiğinden dolayı ağırlıklandırılmış matris kullanılarak “T” satırları hesaplanmıştır.

Tablo 5.3. QLS pareto verilerine göre "T (tespit edilebilirlik)" değeri ağırlıklandırma

Hata	Bölge	01/06/2013 - 01/07/2013						
		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri	T
KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK YIRTIK AŞINMIŞ	Basamak	0	54X4	0	55X8	0	12X10	776
	IP	0	25X4	0	32X8	0	0	356
	Kilit Karşılığı	0	12X4	0	0	0	0	48
	Koltuk Montajı	0	0	0	12X8	0	0	96
	Operatör	0	0	0	12X8	0	0	96
KAPI CAMI SESLİ GÜRÜLTÜLÜ		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri	T
	Perçin Konumu,	0	88X4	0	9X8	0	0	424
	Baskı Ekipman	0	190X4	0	20X8	0	0	920
	Delik Konumu	0	109X4	0	20X8	0	0	596

Tablo 5.4. QLS pareto verilerine göre "T (tespit edilebilirlik)" değerinin hesaplanması

Hata	Bölge	01/06/2013 - 01/07/2013						
		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri	T
KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK YIRTIK AŞINMIŞ	Basamak	0	54X4	0	55X8	0	12X10	6
	IP	0	25X4	0	32X8	0	0	6
	Kilit Karşılığı	0	12X4	0	0	0	0	4
	Koltuk Montajı	0	0	0	12X8	0	0	8
	Operatör	0	0	0	12X8	0	0	8
KAPI CAMI SESLİ GÜRÜLTÜLÜ		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri	T
	Perçin Konumu,	0	88X4	0	9X8	0	0	4
	Baskı Ekipman	0	190X4	0	20X8	0	0	4
	Delik Konumu	0	109X4	0	20X8	0	0	5

### 5.3.3. Ciddiyet (C) hesaplama

Ciddiyet, potansiyel sistem hata modunun önem ve tehlikesinin değerlendirilmesidir. Ciddiyet sadece etkiye bağlı olarak değerlendirilir. Ciddiyet derecesi belirlenirken sistem hata modunun diğer sistemler, araç, müşteri ve yasal gereklilikler üzerindeki

etkisi göz önüne alınır. Hata modları etkilerinin ciddiyeti baz alınarak derecelendirilir.

QLS çıktısında yer alan paretoda “C” sayısını hesaplamak için, Otosan Kalite Sisteminin kullandığı hata derecelendirme matrisinden yararlanılmıştır. Tepe sayısı hata artış matrisi olarak adlandırılan bu matris, hatalar arasında derecelendirme yapmamızı sağlar, derecelere göre reaksiyonlar değişkendir.

Tablo 5.5. Ciddiyet hesaplama için kullanılan hata artış matrisi (FMC, 2000)

Hata Şiddeti (GFCPA Standartları)	Tepe Seviyesi	Artış Seviyesi				
		ÇG Lideri ve Hat Ekip Lideri	Ekip Lideri	Alan Müdürü	Kalite Güvence Müdürü	Fabrika Müdürü
<b>Blitz (10-9)</b>	<b>Alan veya CAL</b>					
Araç/sürücü kontrolünü, müşteri emniyetini ve yasal şartları etkileyen hatalardır	1	x	x	x		
	3				x	x
	<b>Örnekleme</b>					
	1	x	x	x	x	
	3					x
<b>A (8-7)</b>	<b>Alan veya CAL</b>					
Hata çok rahatsız edicidir ve müşteri bayiye/ servise hemen şikayet bildirir.	1	x	x	x		
	3				x	
	<b>Örnekleme</b>					
	1	x	x	x	x	
	3					x
<b>B (6-5)</b>	<b>Alan veya CAL</b>					
Hata rahatsız edicidir; ortalama müşteride memnuniyetsizliğe sebep olur ve TGW, garanti şikayetleriyle gelmesi beklenir.	5	x	x			
	8			x		
	10				x	x
	<b>Örnekleme</b>					
	2	x	x	x		
	4				x	x
<b>C (4-3)</b>	<b>Alan veya CAL</b>					
Eğitilmiş/kritik müşteriler tarafından fark edilir ve uzun vadede iyileştirme gerektirir.	10	x	x			
	15			x		
	<b>Örnekleme</b>					
	4	x	x	x		
	6				x	

“C” sayısını hesaplarken seviyelendirme yapmak için, araç üzerindeki hatalar C20, B40, A80 ve Blitz olarak derecelendirilmiştir. Sözel olarak açıklamak için C20 hataları; Eğitimli/kritik müşteriler tarafından fark edilen ve uzun vadede iyileştirme gerektiren hatalardır. B40 hataları; Rahatsız edicidir, ortalama müşteride memnuniyetsizliğe sebep olur ve Thinks Gone Wrong (TGW), garanti şikayetleriyle gelmesi beklenir. A80 hataları; Hata çok rahatsız edicidir ve müşteri bayiye/servise hemen şikayet bildirir. Blitz hataları ise; Araç/sürücü kontrolünü, müşteri emniyetini ve yasal şartları etkileyen hatalardır, araçları geri çağırma gerektirebilir. Tablo

5.5'teki yönlendirmeler doğrultusunda, QLS çıktısında kullanılan paretodaki "C" değerleri Tablo 5.6'da hesaplanmıştır.

Tablo 5.6. QLS pareto verilerine göre "C (ciddiyet)" değerinin hesaplanması

Hata	Bölge	01/06/2013 - 01/07/2013						
		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri	C
KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK YIRTIK AŞINMIŞ	Basamak	0	54	0	55	0	12	7
	IP	0	25	0	32	0	0	7
	Kilit Karşılığı	0	12	0	0	0	0	7
	Koltuk Montajı	0	0	0	12	0	0	7
	Operatör	0	0	0	12	0	0	7
KAPI CAMI SESLİ GÜRÜLTÜLÜ		Hat	Final	Pre CAL	CAL	FCPA	Müşteri	C
	Perçin Konumu,	0	88	0	9	0	0	6
	Baskı Ekipman	0	190	0	20	0	0	6
	Delik Konumu	0	109	0	20	0	0	6

#### 5.3.4. RÖS hesaplama

Risk Önceliği Sayısı (RÖS), her bir hata nedeni için, saptanan oluşum sıklığı (O), ciddiyet (C), ve tespit edilebilirlik (T) değerlerinin çarpılması ile bulunur, RÖS, hata sebeplerinin birbirlerine nazaran göreceli önemini gösterir. Bu değer, tasarımdaki kuşkuları büyükten küçüğe sıralamak için kullanılır (Pareto diyagramı gibi). RÖS büyük ve yüksek önem değeri olan hata nedenlerine, düzeltici önlemlerin başlatılmasında öncelik verilmelidir. RÖS'ün başka değer ve anlamı yoktur, olası nedenin düzeltilmesinde öncelik tayini amacıyla kullanılır. Hata türleri nedenleri en büyük RÖS'ten başlayarak, büyükten küçüğe doğru sıralandıktan sonra, iyileştirme faaliyeti, kritik maddeler de göz önünde bulundurularak, en yüksek değerde olan konulara yönlendirilmelidir. Önerilen iyileştirme faaliyetleri kısaca tanımlanmalıdır. Her bir önlem açıkça belirlenmelidir. İyileştirme faaliyetlerinden her birinin amacı, sıklık, önem ve tespit edilebilirlik değerlerinden birini veya tamamını azaltmaktır. Belirlenmiş bir hata modunun nedeninin üretim/montaj personeli için bir tehlike oluşturabileceği bütün durumlarda neden(ler)i kontrol ederek veya ortadan kaldırarak hata modunu önleyici düzeltici faaliyetler uygulanmalı veya operatör için uygun yöntem belirlenmelidir.

QLS çıktısı alınarak hesaplanan O, T ve C değerleri ile RÖS hesabı yapılır. RÖS için tablolarda yer alan O değeri, çıktıda yer alan tespit sayıları baz alınarak hesaplanmıştır.

T değerleri, hataların tespit edildikleri bölgelere göre puanlanmıştır. C değerleri, Otosan için kullanılan “hata artış matrisi”nde yer alan hata ciddiyet seviyeleri baz alınarak hesaplanmıştır. Tablo 5.7’de hataların RÖS değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.7. Hesaplanan RÖS değerleri

Hata	Bölge	O	T	C	RÖS	Sıra
KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK YIRTIK AŞINMIŞ	Basamak	10	6	7	420	1
	IP	7	6	7	294	2
	Kilit Karşılığı	3	4	7	84	6
	Koltuk Montajı	3	8	7	168	5
	Operatör	3	8	7	168	5
KAPI CAMI SESLİ GÜRÜLTÜLÜ	Perçin Konumu	7	4	6	168	5
	Baskı Ekipman	10	4	6	240	4
	Delik Konumu	9	5	6	270	3

#### 5.4. Gri İlişki Katsayısı Hesaplama

Hesaplanan RÖS ile Tablo 5.7’de sıralama yapılmıştır. Hesaplanan RÖS değerleri Gri İlişki Analizi kullanılarak Gri RÖS değerlerine dönüştürülür ve yeniden önceliklendirilir, bu öncelik sırasına göre problemler çözülmeye çalışılır.

##### 5.4.1. Fark matrisi hesaplama

İlk olarak karşılaştırmalı serileri belirlemek amacı ile, Tablo 5.7’de yer alan RÖS değerleri kullanılarak Denklem (5.1)’deki matris elde edilmiştir. Bu matris kullanılarak Denklem (5.2)’deki fark matrisi hesaplanmıştır.

$$\begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & X_1(3) \\ X_2(1) & X_2(2) & X_2(3) \\ X_3(1) & X_3(2) & X_3(3) \\ X_4(1) & X_4(2) & X_4(3) \\ X_5(1) & X_5(2) & X_5(3) \\ X_6(1) & X_6(2) & X_6(3) \\ X_7(1) & X_7(2) & X_7(3) \\ X_8(1) & X_8(2) & X_8(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 & 6 & 7 \\ 7 & 6 & 7 \\ 3 & 4 & 7 \\ 3 & 8 & 7 \\ 3 & 8 & 7 \\ 7 & 4 & 6 \\ 10 & 4 & 6 \\ 9 & 5 & 6 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta_1(1) & \Delta_1(2) & \Delta_1(3) \\ \Delta_2(1) & \Delta_2(2) & \Delta_2(3) \\ \Delta_3(1) & \Delta_3(2) & \Delta_3(3) \\ \Delta_4(1) & \Delta_4(2) & \Delta_4(3) \\ \Delta_5(1) & \Delta_5(2) & \Delta_5(3) \\ \Delta_6(1) & \Delta_6(2) & \Delta_6(3) \\ \Delta_7(1) & \Delta_7(2) & \Delta_7(3) \\ \Delta_8(1) & \Delta_8(2) & \Delta_8(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9 & 5 & 6 \\ 6 & 5 & 6 \\ 2 & 3 & 6 \\ 2 & 7 & 6 \\ 2 & 7 & 6 \\ 6 & 3 & 5 \\ 9 & 3 & 5 \\ 8 & 4 & 5 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Fark matrisi değerlerine göre  $\Delta_{\min} = 2$  ,  $\Delta_{\max} = 9$  olarak belirlenmiş, belirleyicilik katsayısı ( $\zeta$ ) ise 0,5 olarak kabul edilmiştir.

$$\gamma(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + (\zeta \Delta_{\max})}{\Delta_{0j}(k) + (\zeta \Delta_{\max})} \quad (5.3)$$

#### 5.4.2. Gri ilişki katsayıları hesaplama

Fark matrisi elde edildikten sonra, Denklem (5.3)'e göre gri ilişki katsayıları hesaplanmıştır.

$$\gamma(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + (\zeta \Delta_{\max})}{\Delta_{0j}(k) + (\zeta \Delta_{\max})} = \gamma(X_0(k), X_i(k)) = \frac{2 + (0,5 \times 9)}{9 + (0,5 \times 9)} = 0,481$$

Bu denklem kullanılarak Denklem (5.4)'teki matriste yer alan değerler hesaplanmıştır;

$$\begin{bmatrix} \gamma_1(1) & \gamma_1(2) & \gamma_1(3) \\ \gamma_2(1) & \gamma_2(2) & \gamma_2(3) \\ \gamma_3(1) & \gamma_3(2) & \gamma_3(3) \\ \gamma_4(1) & \gamma_4(2) & \gamma_4(3) \\ \gamma_5(1) & \gamma_5(2) & \gamma_5(3) \\ \gamma_6(1) & \gamma_6(2) & \gamma_6(3) \\ \gamma_7(1) & \gamma_7(2) & \gamma_7(3) \\ \gamma_8(1) & \gamma_8(2) & \gamma_8(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,481 & 0,684 & 0,619 \\ 0,619 & 0,684 & 0,619 \\ 1,000 & 0,867 & 0,619 \\ 1,000 & 0,565 & 0,619 \\ 1,000 & 0,565 & 0,619 \\ 0,619 & 0,867 & 0,684 \\ 0,481 & 0,867 & 0,684 \\ 0,520 & 0,765 & 0,684 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

#### 5.4.3. Gri RÖS hesaplama

Son aşamada risk önceliklerini belirlemek amacı ile her hata moduna ait gri ilişki derecesi (Gri RÖS) hesaplanmıştır.



Risk faktörlerinin önem düzeyini ağırlıklandırmaları istendiğinde ise, problemlerin O, T ve C değerleri oluşturdukları maliyet açısından incelenerek önceliklendirilmiştir. Denklem (4.10)'a göre ağırlıklandırılmıştır.

Tablo 5.8. Risk faktörlerinin önem düzeyi ağırlıklandırılması

“W” Değeri Hesaplama	W <sub>O</sub>	W <sub>T</sub>	W <sub>C</sub>
Parasal Değeri	2,6€	1,3€	2,6€
Ağırlık	0,4	0,2	0,4

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

Gri ilişki dereceleri Denklem (4.8)'den yararlanarak hesaplanmıştır. Örneğin 1. hata moduna ilişkin gri ilişki derecesi;

$$\tau(X_0, X_j) = \frac{1}{n} \sum \gamma(X_0(k), X_j(k)) W_i(k)$$

$$\tau(X_0, X_j) = \frac{1}{3} \sum (0,481 \times 0,4 + 0,684 \times 0,2 + 0,619 \times 0,4) = 0,577$$

Denklem (4.8) kullanılarak oluşturulan matrisin tüm değerleri aynı şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlıklandırılmış Gri RÖS} = \begin{bmatrix} 0,577 \\ 0,632 \\ 0,821 \\ 0,761 \\ 0,761 \\ 0,695 \\ 0,640 \\ 0,635 \end{bmatrix}$$

#### 5.4.4. Gri RÖS'e göre sıralama hesaplama

Ağırlıklandırılmış Gri RÖS değerleri, Tablo 5.9'da gösterilmiştir. Tablo'da ayrıca, klasik HTEA yöntemi ile hesaplanmış RÖS değerleri de verilmiş, iki yöntem arasında karşılaştırma yapılmıştır. Görüleceği üzere “Kapı Camı Sesli/Gürültülü” probleminin kök nedeni perçin konumu olan hatalarda sıralama; klasik HTEA ile Gri İlişki Analizi arasında fark göstermektedir. Diğer hata nedenlerinin öncelik sıraları aynı kalmıştır.

Tablo 5.9. Klasik HTEA ile gri ilişki analizi kıyaslama

Hata	Bölge	O	T	C	RÖS	Sıra	Gri RÖS	Sıra
KAPI AÇIKLIĞI FİTİLİ KESİK YIRTIK AŞINMIŞ	Basamak	10	6	7	420	1	0,577	1
	IP	7	6	7	294	2	0,632	2
	Kilit Karşılığı	3	4	7	84	6	0,821	7
	Koltuk Montajı	3	8	7	168	5	0,761	6
	Operatör	3	8	7	168	5	0,761	6
KAPI CAMI SESLİ GÜRÜLTÜLÜ	Perçin Konumu	7	4	6	168	5	0,695	5
	Baskı Ekipman	10	4	6	240	4	0,640	4
	Delik Konumu	9	5	6	270	3	0,635	3

Tablo'dan elde edilen sıralamaya göre ilk olarak basamak sebepli fitil yırtıklarının, daha sonra IP sebepli fitil yırtıklarının çözümleri önemlidir. Sıralamaya göre en önemsiz ve çözümü en sona bırakılması gereken problem perçin konumu kaynaklı kapı camı sesli gürültülü problemidir.

## 5.5. Önceliklendirme Sonuçlarına Göre Yapılan İyileştirme Faaliyetleri

Gri Teori yöntemi kullanılarak elde edilen önceliklendirme değerlerine göre problemlere çözümler uygulanmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucu, iyileştirme yapılan bölgelerin kalite metriklerinin iyileşme gösterdiği görülmüştür.

### 5.5.1. Basamak montajı sebepli fitil yırtıklarının çözümü

Kapı Açıklığı Fitili Kesik / Yırtık / Aşınmış problemi, minibüsün ön kapılarının su ve toz girişini engellemek amacı ile montajı yapılan kapı açıklığı fitilinin her hangi bir sebeple her hangi bir yerde hasar görmesi sonucu, kalite kontrol süreçlerinde tespit edilememesi durumunda müşteri açısından memnuniyetsizlik yaratacak bir problemidir. QLS'ten alınan paretoya göre potansiyel sebepleri arasında Basamak Montajı esnasından fitilin yırtılması Tablo 5.9'da en düşük değeri alarak, ilk önceliğe sahip problem olarak tespit edilmiştir.

Basamak montajı prosesi incelendiğinde; basamak montajının dizaynı gereği keskin köşelere sahip olduğu, montaj esnasında, montajın operatör eliyle olması sebebi (hiç bir otomasyon olmadan), keskin köşenin fitile çarpması sonucu yırtıldığı tespit edilmiştir.

Düzeltilici ve önleyici faaliyet üzerinde çalışılmış, keskin köşelerin çarptığı bütün noktalar tespit edilmiş, resimde görülen mıknatıslı koruyucu yaptırılarak, montaj operatörüne verilmiştir. Montaj operatörü basamak montajını yapmaya başlamadan önce, fitilin yırtılması muhtemel bölgeleri koruyacak şekilde dizayn edilen koruyucuyu yerleştirip, basamak montajına geçmektedir.



Şekil 5.3. Mıknatıslı fitil koruyucu (basamak montajı)

Kullanım sonrası kalite kayıtları incelendiğinde, basamak montajı bölgesindeki fitil kesiklerinin 1 aylık verileri incelendiğinde %96 azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

### 5.5.2. IP montajı sebepli fitil yırtıklarının çözümü

Kapı Açıklığı Fitili Kesik / Yırtık / Aşınmış problemi, minibüsün ön kapılarının su ve toz girişini engellemek amacı ile montajı yapılan kapı açıklığı fitilinin her hangi bir sebeple her hangi bir yerde hasar görmesi sonucu, kalite kontrol süreçlerinde tespit edilememesi durumunda müşteri açısından memnuniyetsizlik yaratacak bir problemdir. QLS'ten alınan paretoya göre potansiyel sebepleri arasında IP Montajı esnasından fitilin yırtılması Tablo 5.9'da en düşük ikinci değeri alarak, ikinci önceliğe sahip problem olarak tespit edilmiştir. IP (Instrument Panel) denilen aracın torpido kısmının takılması esnasında fitilin yırtılmasına keskin köşeli karkasın sebep olduğu tespit edilmiştir.

Düzeltilici ve önleyici faaliyet üzerinde çalışılmış, keskin köşelerin çarptığı bütün noktalar tespit edilmiş, resimde görülen mıknatıslı koruyucu yaptırılarak, montaj operatörüne verilmiştir. Montaj operatörü IP montajını yapmaya başlamadan önce,

fitilin yırtılması muhtemel bölgeleri koruyacak şekilde dizayn edilen koruyucuyu yerleştirip, IP montajına geçmektedir.



Şekil 5.4. Mıknatıslı fitil koruyucu (IP montajı)

Kullanım sonrası kalite kayıtları incelendiğinde, IP montajı bölgesindeki fitil kesiklerinin 1 aylık verileri incelendiğinde %100 azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

### **5.5.3. Cam mekanizması delik konumu sebebiyle kapı camı gürültü probleminin çözümü**

Kapı Camı Sesli / Gürültülü problemi, aracın ön camlarının yukarı aşağı hareketi esnasında, spek dışı rahatsız edici ses ve sarsıntı yaratması problemidir. QLS'ten alınan paretoya göre potansiyel sebepleri arasında; mekanizma demiri üzerinde perçinin bağlandığı deliğin konumu Tablo 5.9'da en düşük üçüncü değeri alarak, üçüncü önceliğe sahip problem olarak tespit edilmiştir.

Cam mekanizmasının, cama yerleştirilme ve perçinlenme prosesi incelendiğinde; delik konumunun dizaynı gereği perçinleme sonrası arasındaki mesafenin 2 mm kadar küçük bir uzaklığa sahip olduğu mekanizma demiri ve cam demirinin birbirine çarptığı bu sebeple ses çıkarttığı tespit edilmiştir.

Düzeltilici ve önleyici faaliyet üzerinde çalışılmış, delik konumunu aşağıya 3 mm olarak; mekanizma demiri ile cam demiri arasındaki mesafeyi 5 mm çıkartılması ve mesafenin artması ile çalışma esnasında birbirine çarpması engellenmiştir.



Şekil 5.5. Mekanizma demiri delik konumu

Alınan aksiyon sonrası kalite kayıtları incelendiğinde, mekanizma demiri üzerinde perçinin bağlandığı deliğin konumu kaynaklı Kapı Camı Sesli/Gürültülü problemi 1 aylık verileri incelendiğinde %100 azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Hata Türleri ve Etkileri Analizi bir ürün veya prosesin potansiyel hatalarını ve bunların sonucu olabilecek etkilerini tanımlama, değerlendirme, potansiyel hatanın ortaya çıkma şansını ortadan kaldıracak faaliyetleri tanımlama ve dokümanete etme işlemidir. Geleneksel HTEA kullanarak riskler tamamen farklı olmasına rağmen aynı RÖS değerleri elde edilebilir. Bu durumda; sistem için çok önemli bir hata türünü ihmal ederek kaynak ve zaman israfına neden olunabilir. Bir diğer eksiklik ise Geleneksel HTEA'nın, şiddet, olasılık ve saptanabilirlik arasındaki göreceli ilişkiyi ihmal edip bu üç faktörün aynı öneme sahip olduğunu farz ederek hareket etmesidir. Geleneksel HTEA'nın bu eksikliklerini ortadan kaldırmak için farklı bir yaklaşım önerilebilir. Bu yaklaşımda bulanık kurallar kullanılarak özellikle farklı risklere sahip olmalarına rağmen aynı RÖS değerlerine sahip hata türleri sıralanır. Daha sonra analiz genişletilerek şiddet, olasılık ve saptanabilirlik faktörlerine ağırlıklar verilerek durulaştırıcı dilsel terimler ve gri ilişkiler analizi kullanılır. Gri teori; sistem davranışlarını, ilişkiler analizini ve modellendirmeyi kullanarak tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca yeterli olmayan bilgilerden yararlanarak karar verme süreciyle de ilgilenir.

Bu çalışma'da otomotiv montaj hattında karşılaşılan problemlerin Gri Teori ve HTEA yaklaşımları ile önceliklendirilmesi çalışması yapılmıştır. Problemlere Geleneksel HTEA kullanılarak önceliklendirme çalışması yapılmış, daha sonra Gri teori kullanılarak HTEA uygulanmış, sıralamanın ve önemin değiştiği, sonuçlar ile belirtilmiştir. Değişen sonuçlara göre düzeltici ve önleyici faaliyetler üzerinde çalışılmış, Gri RÖS'e göre önceliklendirmeler yapılmış ve bu önceliklere göre problemlerin üstünde çalışılmıştır. Düzeltici ve önleyici projeler başlatılmıştır. Bu projelerin sonucunda önemli iyileştirmeler sağlanmıştır.

Basamak montajında keskin köşelerin çarptığı bütün noktalar tespit edilerek yaptırılan mıknatıslı koruyucu ile yapılan iyileştirme ile basamak montajı bölgesindeki fitil kesiklerinin 1 aylık verileri incelendiğinde %96 azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

IP (Instrument Panel) denilen aracın torpido kısmının takılması esnasında keskin köşelerin çarptığı bütün noktalar tespit edilerek yaptırılan mıknatıslı koruyucu ile yapılan iyileştirme ile basamak montajı bölgesindeki fitil kesiklerinin 1 aylık verileri incelendiğinde %100 azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

Cam mekanizması demiri ile cam demirinin, perçin deliği konumundan kaynaklı, mesafesinin az olması ve birbirine hareket esnasında çarpması kaynaklı, Kapı Camı Sesli/Gürültülü problemi, delik konumunu 3 mm aşağıya alarak mekanizma demiri ile cam demiri arasındaki mesafeyi 5 mm çıkartılması ve mesafenin artması ile çalışma esnasında birbirine çarpması engellenmiştir. Alınan aksiyon sonrası kalite kayıtları incelendiğinde, mekanizma demiri üzerinde perçinin bağlandığı deliğin konumu kaynaklı Kapı Camı Sesli/Gürültülü problemi 1 aylık verileri incelendiğinde %100 azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

FTT, (İlk seferde geçiş) olarak tutulan kalite metriği çalışmalardan önce %96 iken, önceliklendirilip çözülen problemlerin, CAL hattında görülmemesi sonucunda %97,8'e çıkartılmıştır.

Kalite problemleri sebebiyle 1 aylık tekrar işçilik kayıtları incelendiğinde 2 adet operatörün toplam 48 saatini bu işlemlere ayırdığı, çözüm sonrası 1 aylık veriler incelendiğinde bu sürenin sadece 2 saate düştüğü tespit edilmiştir. İşçilik olarak, 46 saatlik bir kazanç elde edilmiş ve parasal olarak aylık 2 operatör, 46 saatlik maliyeti 2300 Avro olarak hesaplanmıştır. Bu da yıllık 27600 Avro'luk bir tasarruf demektir.

Bu çalışmada da görüldüğü gibi işletmelerde karşılaşılan problemlerin çözümü için doğru yöntemler kullanıldığında hem problemler çözülerek müşteri memnuniyeti sağlanmakta hem de işletmeler maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilmektedirler.

## KAYNAKLAR

Abdelgawad M., Fayek A., Risk Management in the Construction Industry Using Combined Fuzzy FMEA and Fuzzy AHP, *J. Constr. Eng. Manage.*, 2010, **136**, 1028-1036.

Akın B., *ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi*, 1.Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, Ankara, 1998.

Bayrakdar M., Hata Türleri ve Etkileri Analizi(HTEA) ve Taguchi Metodu'nun Bonfiglioli A.Ş.'de Ortak Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009, 268906.

Chao P., Ishii K., Design Process Error Proofing: Failure Modes and Effects Analysis of the Design Process, *Journal of Mechanical Design*, 2007, **129**, 491-501.

Durhan D., Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006, 200029.

Eryürek Ö. , Tanyas M., Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminde Maliyet Odaklı Yeni Bir Karar Verme Yaklaşımı, *İtüdergisi/d Mühendislik*, 2003, **2**, 31-40.

Ford Motor Company, *Failure Mode and Effects Analysis Handbook*, 1st Ed., Dearborn, 2000.

Franceschini F., Galetto M., A New Approach for Evaluation of Risk Priorities of Failure Modes in FMEA, *International Journal of Production Research*, 2001, **39**, 2991-3002.

Girginer N., Köse T., Uçkun N., Veri Zarflama Analizi ve Gri İlişki Analizinin Birlikte Kullanımıyla Cerrahi Servislerin Etkinliklerinin Analizi, *International Conference in Economics*, Prag, Çek Cumhuriyeti, 03-05 Eylül 2014.

Köse E., Erol S., Temiz İ., Grey System Approach for EOQ Models, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2010, **28**, 298-309.

Musubeyli N., Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği için Bir Model ve Uygulaması, *MMO Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 2004, **15**, 17-26

Pillay A., Wang J., Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning, *Reliability Engineering and System Safety*, 2003, **79**, 69-85.



Price J., Taylor N., Automated multiple failure FMEA, *Reliability Engineering and System Safety*, 2002, **76**, 1–10.

Scipioni A., Saccarola G., Centazzo A., Arena F., FMEA Methodology Design, Implementation and Integration with HACCP System in a Food Company, *Food Control*, 2002, **13**, 495–501.

Sellappan N., Sivasubramanian R., Modified Method for Evaluation of Risk Priority Number in Design FMEA, *ICFAI Journal of Operations Management*, 2008, **7**, 1-2.

Sofyalıoğlu C., Süreç Hata Modu Etkileri Analizi Gri Değerlendirme Modeli, *Ege Akademik Bakış*, 2011, **1**, 155-164.

Söylemez C., Hata Türü ve Etkileri Analizi İş Güvenliği Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006, 180079.

Stamatis D., Failure mode and effects analysis – FMEA from theory to execution, *ASQC Quality Pres*, Wisconsin, 2003, **1**, 28-34,

Tay M., Lim C., Fuzzy FMEA with a Guide Rules Reduction System for Priorization of Failures, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2006, **23**, 1047-1066.

Teng S. , Ho M., Shumar D., Liu P., Implementing FMEA in a Collaborative Supply Chain Environment, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2004, **23**, 179-196.

URL – 1: <http://www.isixsigma.com/tools-templates/fmea/minimizing-risks-how-apply-fmea-services/> (Ziyaret tarihi: 18 Haziran 2013).

URL – 2: <http://www.isixsigma.com/tools-templates/fmea/fmea-preventing-failurean-harm-done/> (Ziyaret tarihi: 26 Eylül 2014).

URL – 3: <http://www.genelbilge.com/kalite-guvence-sistemi-ve-toplam-kalite-yone-timi.html/> (Ziyaret tarihi: 23 Ocak 2012).

URL – 4: [www.fordotosan.com.tr/tarihce.htm](http://www.fordotosan.com.tr/tarihce.htm) (Ziyaret tarihi: 16 Eylül 2011).

Üstünışık N., Türkiye'deki İller ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri ilişkisel Analiz Yöntemi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 201000.

Wang J., Ruxton T., Labrie R., Design for Safety of Engineering Systems with Multiple Failure State Variables, *Reliability Engineering & System Safety*, 1995, **50**, 271-284.

Welborn C., Boraiko C., Proactive Safety Engage Employees In Failure Modes And Effects Analysis to Improve Safety, *American Society of Safety Engineers*, 2009, **54**, 10.

Yılmaz B., Hata Türü ve Etki Analizi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2000, **2**, 4.

Yılmaz E., GÜNGÖR F., Gri İlişkisel Analiz Yöntemine Göre Farklı Sertliklerde Optimum Takım Tutucusunun Belirlenmesi, 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 11-12 Kasım 2010.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Balkır Akpınar 18.06.1985 tarihinde İzmir'in Bergama ilçesinde doğmuştur. İlk ve Orta öğrenimini İzmit'te 24 Kasım Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. Orta öğrenimi tamamladıktan sonra Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde öğrenim görmeye hak kazanmıştır. Burada süren 5 yıllık öğrenim hayatından sonra TAI Uçak fabrikasına İş Geliştirme Mühendisi olarak işbaşı yapmıştır. Burada 1 yıl çalıştıktan sonra CRM Consulting'e sistem analizi mühendisi olarak çalışmıştır. Askerlik görevinden sonra 1 yıl Mass Cable Elimsan'da Ön İmalat Üretim Mühendisi olarak çalıştıktan sonra Ford Otosan'da Montaj Üretim Mühendisi olarak 3 yıl görev yapmıştır. Ford Otosan'dan ayrılarak Alstom Grid Enerji A.Ş.'ye Süreç Geliştirme Mühendisi olarak başlamıştır, halen bu görevini yürütmektedir.