

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK ADAPTİF  
REZONANS TEORİSİ YAKLAŞIMI İLE BİR MODEL ÖNERİSİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Endüstri Yük. Müh. Gülşen AYDIN KESKİN**

**Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği**

**Danışman: Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN**

**KOCAELİ, 2008**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK ADAPTİF  
REZONANS TEORİSİ YAKLAŞIMI İLE BİR MODEL ÖNERİSİ**

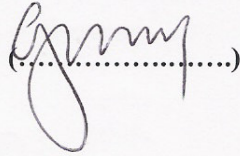
**DOKTORA TEZİ**

**Gülşen AYDIN KESKİN**

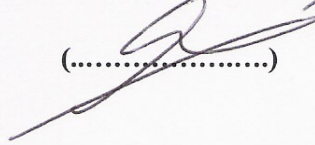
**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 17 Nisan 2008**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 16 Haziran 2008**

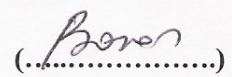
Tez Danışmanı  
Prof.Dr. Coşkun ÖZKAN

  
(.....)

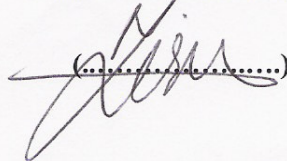
Üye  
Yrd.Doç.Dr. Didem YILMAZ

  
(.....)

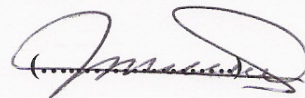
Üye  
Yrd.Doç.Dr. Semra BORAN

  
(.....)

Üye  
Prof.Dr. Zerrin ALADAĞ

  
(.....)

Üye  
Prof.Dr. Semra BİRGÜN

  
(.....)

**KOCAELİ, 2008**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hata Türü ve Etkileri Analizi yönteminin, sistem veya ürün/hizmet oluşturulmasının her aşamasında karşılaşılabilecek sorunları belirleyip ortadan kaldıran, böylelikle hem güvenilirliği arttırıp, hem de kalitede sürekli iyileştirme sağlayan teknikler geliştirme üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu teknik, gelecekte ortaya çıkması söz konusu olan olası hata şekillerini, bunların olası etkilerini ve olası nedenlerini belirleyip, meydana gelmelerini önlemeyi amaçlar. Hata Türü ve Etkileri Analizi, ürünün tasarım veya sürecini geliştirme ve yorumlamada yararlanılabilecek niceliksel bir tekniktir. Hata Türü ve Etkileri Analizi, bu özelliklerinden dolayı Toplam Kalite Yönetimi'nde önemli bir yere sahiptir. Burada kontrol önemli olmakla beraber kontrol yoluyla hatayı yakalamak, istenen başarıya götürmemektedir. Bunun yerine hatanın oluşum nedenlerine inerek ortaya çıkışını önlemek, dolayısıyla kusursuzluğu hedeflemek gerekmektedir.

Çalışmamın başından itibaren gösterdiği emek, destek ve ilgiyle çalışmanın gerçekleşmesi ve ilerlemesini sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN' a,

Çalışmam sırasında fikirleriyle bana yol gösteren ve destekleyen hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Didem YILMAZ ve Yrd. Doç. Dr. Semra BORAN' a,

Çalışmam sırasında bana yol gösteren, yardımını hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşım Öğr. Gör. Sevinç İLHAN' a,

Çalışmam sırasında teknik desteğini benden esirgemeyen arkadaşlarım Ümit TERZİ ve Mehlika ŞENGÜL ile kardeşim Nurşen AYDIN' a,

Çalışmam sırasındaki samimiyet, manevi destek ve teşvikleri için Çağın KARAKOÇ başta olmak üzere, tüm çalışma arkadaşlarıma,

Eğitim ve kariyer hayatım süresince sevgi ve emeği ile yanımda olan eşime , anneme ve babama,

Sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Endüstri Yük. Müh. Gülşen AYDIN KESKİN

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
TABLolar DİZİNİ .....	viii
SEMBOLLER .....	ix
TÜRKÇE ÖZET .....	xi
İNGİLİZCE ÖZET .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. HATA VE GÜVENİLİRLİK ANALİZ TEKNİKLERİ .....	4
2.1. Hata Kavramı .....	4
2.1.1. Hataların sınıflandırılması .....	5
2.1.1.1. Meydana geldiği aşamaya göre hatalar .....	5
2.1.1.2. Sonuçlarına göre hatalar .....	5
2.1.1.3. Zamana göre hatalar .....	6
2.1.1.4. Nedenlerine göre hatalar .....	6
2.2. Güvenilirlik Analizleri .....	8
2.2.1. Hata ağacı analizi .....	8
2.2.2. Tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları (H.A.C.C.P.) .....	10
2.2.3. Kök sebep analizi .....	10
2.2.4. Sebep sonuç diyagramı .....	10
2.2.5. Hata türü ve etkileri analizi (H.T.E.A.) .....	10
3. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ .....	11
3.1. H.T.E.A. Tanımı .....	11
3.2. H.T.E.A. Yönteminin Başarıyla Uygulanması İçin Gerekli Şartlar .....	13
3.3. H.T.E.A. Metodunun Kronolojik Literatür Taraması .....	15
3.4. H.T.E.A.'nın Uygulanma Nedenleri Ve Özellikleri .....	19
3.5. H.T.E.A.'nın Genel Amaçları Ve Yararları .....	22
3.6. H.T.E.A. Çeşitleri .....	24
3.6.1. Sistem H.T.E.A. .....	27
3.6.2. Tasarım H.T.E.A. .....	28
3.6.3. Süreç H.T.E.A. .....	30
3.6.4. Servis H.T.E.A. .....	33
3.7. FMEA Uygulama Süreci .....	33
3.7.1. Olası hatalar .....	36
3.7.2. Olası hata etkileri .....	36
3.7.3. Olası hata nedenleri .....	36
3.7.4. Değerlendirme .....	37
3.7.5. H.T.E.A. parametrelerinin derecelendirilmesi .....	38
3.7.5.1. Olasılık (O) .....	39
3.7.5.2. Şiddet (Ş) .....	44
3.7.5.3. Keşfedilebilirlik (K) .....	47
3.7.6. Risk öncelik göstergesi .....	49

3.7.7. İyileştirme önerileri .....	54
3.7.8. Sonuçların değerlendirilmesi .....	56
3.7.9. Düzeltici önlemler .....	56
3.7.10. İzleme .....	56
3.7.11. Doğrulama .....	56
3.8. H.T.E.A. Yönteminin İyileştirmeye Açık Yönleri.....	57
4. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	60
4.1. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri.....	62
4.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı .....	64
4.3. Yapay Sinir Ağlarının Çalışması .....	64
4.4. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları, Avantajları ve Dezavantajları.....	65
4.5. Yapay Sinir Ağı Yapıları.....	67
4.5.1. İleri beslemeli yapay sinir ağları (İ.B.Y.S.A.).....	67
4.5.2. Geri beslemeli yapay sinir ağları (G.B.Y.S.A.).....	67
4.5.3. Bellek hücreli yapay sinir ağı yapıları (B.H.Y.S.A.) .....	68
4.5.4. Radyal tabanlı fonksiyon ağları ( R.T.F.A.).....	68
4.5.5. Fonksiyonel link ağları (F.L.A.) .....	68
4.5.6. Çağrışımli bellek ağları (Ç.B.A.).....	69
4.5.7. Modül yapay sinir ağları (M.Y.S.A.).....	69
4.6. Yapay Sinir Ağlarının Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması .....	69
4.6.1. Danışmanlı öğrenme .....	70
4.6.2. Danışmansız öğrenme .....	70
4.6.3. Takviyeli öğrenme .....	71
5. ADAPTİF REZONANS TEORİSİ AĞI .....	72
1. Kısa dönemli hafıza (K.D.H.).....	72
2. Uzun dönemli hafıza (U.D.H.) [97] .....	72
5.1. Adaptif Rezonans Teorisi Modelinin Temel Özellikleri.....	73
5.2. Adaptif Rezonans Teorisinin Kullanım Alanları .....	74
5.3. Adaptif Rezonans Teorisi Ağlarının Diğer Yapay Sinir Ağlarından Farkları.....	74
5.4. Adaptif Rezonans Teorisi Ağlarının Yapısı.....	76
5.5. Adaptif Rezonans Teorisi Ağlarının Çalışma Prensipleri .....	78
5.6. Adaptif Rezonans Teorisi Ağlarındaki Farklı Modeller .....	80
5.6.1. Adaptif rezonans teorisi 1 .....	80
5.6.2. Adaptif rezonans teorisi 2.....	81
5.6.3. Adaptif rezonans teorisi 3.....	81
5.6.4. Bulanık adaptif rezonans teorisi.....	81
5.6.5. A.R.T.M.A.P. ve bulanık A.R.T.M.A.P. ....	82
6. BULANIK ADAPTİF REZONANS TEORİSİ MODELİ.....	83
6.1. Bulanık Adaptif Rezonans Teorisi Özellikleri .....	83
6.2. Bulanık ART Algoritmasının Algoritmik Açıklaması.....	84
6.3. Bulanık A.R.T. Algoritmasının Kronolojik Literatür Taraması .....	86
6.4. Bulanık A.R.T. ve A.R.T. 1 Arasındaki Farklılık.....	88
6.5. Bulanık A.R.T. Algoritması .....	88
7. H.T.E.A.' NİN BULANIK A.R.T. İLE ÇÖZÜMÜNE ÖNERİLEN YÖNTEM 93	
7.1. H.T.E.A.' nın Bulanık A.R.T. İle Çözümü İçin Önerilen Yöntem.....	97
7.1.1. Önerilen metodoloji .....	99
7.2. Yöntemin Örnek Probleme Uygulanması .....	104
7.2.1. Örnek problemin klasik H.T.E.A. ile çözümü .....	105
7.2.2. Örnek problemin önerilen bulanık A.R.T. metodolojisi ile çözümü .....	107

7.3. Örnek Problem Üzerinde Klasik H.T.E.A. ve Önerilen Yöntemin Karşılaştırılması.....	118
7.3.1. Klasik H.T.E.A. bulguları.....	119
7.3.2. Bulanık A.R.T. bulguları .....	120
7.4. Önerilen Yöntemin Klasik H.T.E.A.. Yaklaşımına Katkıları.....	121
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	128
8.1. Geleneksel Yöntem İle Geliştirilen Yöntemin Karşılaştırılması .....	130
8.2. Bulanık A.R.T. Algoritmasının Klasik Yönteme Olan Üstünlükleri.....	131
8.3. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler.....	133
KAYNAKLAR.....	135
EKLER.....	146
ÖZGEÇMİŞ.....	152

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Güvenilirlik analizi uygulamaları [4].....	9
Şekil 3.1: H.T.E.A. yönteminin kalite içerisindeki yeri [83] .....	21
Şekil 3.2 : H.T.E.A. türlerinin kendi aralarında karşılaştırılması [83] .....	26
Şekil 3.3 : Sistem ve alt sistem arasındaki etkileşim [4].....	28
Şekil 3.4 : H.T.E.A. uygulama süreci [4].....	34
Şekil 3.5 : H.T.E.A. yöntemi analiz formu [59].....	35
Şekil 3.6 : H.T.E.A. uygulama sürecindeki analiz etme ve değerlendirme basamakları arasındaki ilişki [89].....	38
Şekil 3.7 : R.Ö.G. hesaplaması [4] .....	52
Şekil 4.1 : Yapay sinir ağı girdi, çıktı ilişkisi.....	64
Şekil 4.2 : Danışmansız öğrenme yapısı [97].....	71
Şekil 5.1 : A.R.T. ağının genel yapısı [106].....	77
Şekil 5.2 : A.R.T. ağında çıktı oluşturma süreci (aşağıdan yukarı) [97] .....	78
Şekil 5.3 : A.R.T. ağında çıktı oluşturma süreci (yukarıdan aşağı) [97] .....	79
Şekil 5.4 : A.R.T. ağında yeni bir sınıf oluşturma [97].....	80
Şekil 6.1 : Bulanık A.R.T. algoritmasının akış şeması [110].....	85
Şekil 6.2 : A.R.T.1 ve Bulanık A.R.T. arasındaki analogi [133] .....	88
Şekil 6.3 : Bulanık A.R.T. mimarisi [133].....	89
Şekil 7.1 : H.T.E.A.'nın Bulanık A.R.T. ile modellenmesi .....	98

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.3.1 : Olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik derecelendirme ölçeği [90].....	38
Tablo 3.2 : Olasılık derecesi seçme tablosu [90].....	41
Tablo 3.3 : Süreç H.T.E.A. için olasılık derecelendirme tablosu [90] .....	43
Tablo 3.4 : Süreç H.T.E.A. Hata / Neden olasılık tablosu [90].....	44
Tablo 3.5 : Sistem H.T.E.A. için şiddet derecelendirme tablosu [92].....	46
Tablo 3.6 : Süreç H.T.E.A. için keşfedilebilirlik derecelendirme tablosu [92] .....	48
Tablo 3.7 : Tasarım H.T.E.A. için değerlendirme tablosu [2] .....	50
Tablo 4.1 : Ağların başarılı oldukları alanlar [97].....	69
Tablo 7.1 : H.T.E.A.örnek problem tablosu.....	105
Tablo 7.2 : Risk öncelik göstergesi 100 > olan hata türleri .....	106
Tablo 7.3 : Risk öncelik göstergesi 40 ile 100 arasında olan hata türleri .....	106
Tablo 7.4 : Risk öncelik göstergesi $\leq 40$ olan hata türleri .....	107
Tablo 7.5 : H.T.E.A. veri seti .....	108
Tablo 7.6 : Parametre düzeyleri.....	108
Tablo 7.7 : On test probleminde elde edilen sınıflar, elde edilme sıklıkları ve etkin çözüm sınıfları (mavi renk) .....	109
Tablo 7.8 : Etkin çözümler için $\beta$ - $p$ kombinasyonu ve dağılımları .....	110
Tablo 7.9 : Test Problemi 1 için etkileşim düzeyleri (7 x 3).....	111
Tablo 7.10 : Test Problemi 2 için etkileşim düzeyleri. (7 x 3).....	111
Tablo 7.11 : Test Problemi 3 için etkileşim düzeyleri. (8 x 3).....	111
Tablo 7.12 : Test Problemi 4 için etkileşim düzeyleri (11 x 3).....	112
Tablo 7.13 : Test Problemi 5 için etkileşim düzeyleri (16 x 3).....	112
Tablo 7.14 : Test Problemi 6 için etkileşim düzeyleri (16 x 3).....	112
Tablo 7.15 : Test Problemi 7 için etkileşim düzeyleri (22 x 3).....	113
Tablo 7.16 : Test Problemi 8 için etkileşim düzeyleri (22 x 3).....	113
Tablo 7.17 : Test Problemi 9 için etkileşim düzeyleri (26 x 3).....	113
Tablo 7.18 : Test Problemi 10 için etkileşim düzeyleri (67 x 3).....	114
Tablo 7.19 : H.T.E.A. veri seti için belirlenen uygun sınıf sayıları .....	115
Tablo 7.20 : Öncelik sırası 1 sınıfı.....	117
Tablo 7.21 : Öncelik sırası 2 sınıfı.....	117
Tablo 7.22 : Öncelik sırası 3 sınıfı.....	117
Tablo 7.23 : Öncelik sırası 4 sınıfı.....	118
Tablo 7.24 : öncelik sırası 1 sınıfının kendi içinde sınıflandırması.....	118
Tablo 7.25 : Klasik H.T.E.A. ile Geliştirilen metodolojinin karşılaştırılması .....	119
Tablo 7.26 : Örnek problem 1 .....	123
Tablo 7.27 : Özet karşılaştırma tablosu .....	123
Tablo 7.28 : Örnek problem 2 .....	125
Tablo 7.29 : Karşılaştırmalı özet tablo.....	126
Tablo 8.1 : Klasik yöntem ve geliştirilen metodolojinin karşılaştırılması.....	131



## SEMBOLLER

a	: giriş
C	: işlem kapasitesi
G	: standart sapma
F1	: giriş katmanı
F2	: çıktı katmanı
I	: normalize edilmiş giriş
M	: eşleşme fonksiyonu
N	: potansiyel kategoriler
O	: men-edici işaret
P	: aday prototip vektörü kümesi
S	: çıktı örüntüsü
S.S.	: uygunluk parametresi ölçüsünde birbirlerine benzer özellikler gösteren girişlerin ait olduğu sınıf
T	: seçme fonksiyonu
U	: F2 katmanında oluşturulan çıktı örüntüsünün yukarıdan aşağıya gönderdiği sinyal
V	: şablon örüntüye dönüştürülen sinyal
w	: ağırlık değeri
X	: aktivite örüntüsünü
x	: modelin giriş değeri
Y	: F2 katmanının çıktısı olan örüntüyü
$\alpha$	: seçme parametresi
$\rho$	: uygunluk parametresi
$\beta$	: öğrenme oranı parametresi
$\cap$	: mantıksal VE operatörü (kesişim)
$\wedge$	: Bulanık VE operatörü (minimum)
$x \wedge y$	: minimum (x, y)
$ a $	: toplam giriş
$\Sigma$	: toplam

### Alt indisler

i	: hata türü sayısı
j	: her bir hata türünün şiddeti, olasılığı ve keşfedilebilirliği
s	: sınıf sayısı
n	: maksimum hata türü sayısı
ort	: aritmetik ortalama
pk	: işlem indeksi
$\theta$	: resetlenecek küme üyeliği
(yeni)	: güncellenmiş ağırlık değeri
(eski)	: bir önceki ağırlık değeri

### **Kısaltmalar**

A.R.T.	: Adaptif Rezonans Teorisi
A.R.T.M.A.P.	: Adaptif Rezonans Teorisi Bilişsel Haritaları
B.H.Y.S.A.	: Bellek Hücreli Yapay Sinir Ağı Yapıları
Ç.B.A.	: Çağrışimli Bellek Ağları
D	: Keşfedilebilirlik
F.L.A.	: Fonksiyonel Link Ağları
H.T.E.A.	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
Bulanık A.R.T.	: Bulanık Adaptif Rezonans Teorisi
Bulanık A.R.T.M.A.P.	: Bulanık Adaptif Rezonans Teorisi Bilişsel Haritaları
G.B.Y.S.A.	: Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları
H.A.C.C.P.	: Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları
H.K.S.	: Hataların Kümülatif Sayısı
İ.B.Y.S.A.	: İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları
K.D.H.	: Kısa Dönemli Hafıza
L.V.Q.	: Vektör Kuantizasyon Modelleri
Maks	: Maksimum
Min	: Minimum
M.Y.S.A.	: Modül Yapay Sinir Ağları
O	: Olasılık
R.Ö.G.	: Risk Öncelik Göstergesi
R.T.F.A.	: Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları
S	: Şiddet
S.O.M.	: Kendi Kendini Organize Eden Model
U.D.H.	: Uzun Dönemli Hafıza
V.L.S.I.	: Büyük Ölçekli Entegre Devre
Y.S.A.	: Yapay Sinir Ağları
Y.Y.M.	: Yeniden Yerleştirme Modülü

# HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK ADAPTİF REZONANS TEORİSİ YAKLAŞIMI İLE BİR MODEL ÖNERİSİ

**Gülşen AYDIN KESKİN**

**Anahtar kelimeler:** Bulanık Adaptif Rezonans Teorisi, Hata Türü ve Etkileri Analizi, Sınıflandırma Analizi

**Özet:** Hata, kısaca bir birimin sahip olması gereken özelliklerinden bir sapma olarak tanımlanmaktadır. Hata Türü ve Etkileri Analizi ise, imalat endüstrisinde imalat kalitesi ve verimliliğini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır ve sistem, tasarım, süreç veya serviste oluşabilecek hataların değerlendirmesini yapan ve bu tür hataların değerlerinin sürekli iyileştirilmesi ve azaltılmasını hedefleyen bir yöntemdir.

Müşteri beklentileri, yönetmelik gerekleri ve yargı organlarının tutumlarındaki hızlı değişimden dolayı, potansiyel problemleri belirlemek ve önlemek için gerekli bir tekniğin kullanım disiplinine olan gereksinim, önemli boyuttadır. Bu nedenle, Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi, problemleri oluşmadan önlemek şeklinde disipline olmuş bir yaklaşım sağlamak amacıyla kritik güvenlik gereken endüstrilerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Adaptif Rezonans Teorisi yapay sinir ağları, sınıflandırma problemleri için geliştirilmiş danışmansız öğrenme algoritmalarıdır.

Hata Türü ve Etkileri Analizi yönteminde Risk Öncelik Göstergesi değerini oluşturan üç risk faktörü (şiddet, keşfedilebilirlik ve olasılık) ayrı ayrı ölçülüp, birbirleri ile çarpılmak suretiyle tek bir değer üzerinden (risk öncelik göstergesi) değerlendirilmektedir. Bu durum, üç risk faktörü değerinin ayrı ayrı kaybolmasına sebep olmaktadır. Bunun gibi geleneksel Hata Türü ve Etkileri Analizi yönteminin, etkinliğine etki eden ve gerçekleştirilmesini sınırlandıran bir çok açmazı bulunmaktadır. Söz konusu açmazlara yanıt verebilmek amacıyla bu çalışmada, hata türü ve etkileri analizinde, risk öncelik göstergesini değerlendirmek için adaptif rezonans teorisi algoritmalarından Bulanık Adaptif Rezonans Teorisi adlı yöntem uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

# **A MODEL PROPOSAL WITH FUZZY ADAPTIVE RESONANCE THEORY APPROACH TO FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS**

**Gülşen AYDIN KESKİN**

**Key Words:** Fuzzy Adaptive Resonance Theory, Failure Mode and Effects Analysis, Clustering Analysis

**Abstract:** Failure is described as a deviation from the necessary specifications of a unit. Failure Mode and Effects Analysis has been used to improve production quality and productivity and it is a method which evaluates possible failures in the system, design, process or service and aims to continuously improve and decrease this kind of failure modes.

The requirement of usage discipline in a necessary technique to determine and prevent the potential problems because of the rapid change in customer expectations, regulation laws and judicial bodies' policies, is at the important level. For this reason, Failure Mode and Effects Analysis methods have been used frequently at the industry needs critical security, with the aim of providing an approach formed to prevent problems before existing.

Adaptive Resonance Theory is one of the learning algorithms without consultants which are developed for clustering problems in artificial neural networks.

According to classical Failure Mode and Effects Analysis method, every failure mode in the system is analyzed by severity, occurrence and detection and Risk Priority Number is acquired by the multiplication of these three risk factors and necessary failure modes are improved with respect to determined threshold value. This situation caused the loss of three risk factors separately. Similarly, there exist many difficulties of traditional Failure Mode and Effects Analysis method which affect its efficiency and limit its realization. To respond these difficulties, this study introduces the method named Fuzzy Adaptive Resonance Theory, one of the Adaptive Resonance Theory networks, to evaluate Risk Priority Number in Failure Mode and Effects Analysis.

## 1. GİRİŞ

Müşteride güven duygusunu oluşturmak, kalitenin sürekliliğini sağlayabilmek, piyasa koşullarında daha iyi rekabet edebilmek ve verimliliği arttırmak için yapılan çalışmalar, sistem içinde yer alan yada yer alma ihtimali bulunan hataların tespit edilmesinden çok, ortadan kaldırılmasına yönelik olmalıdır.

Oluşması olası hata türlerinin ortadan kaldırılmasına yönelik olarak gerçekleştirilen Hata Türü ve Etkileri Analizi (H.T.E.A.) yöntemi, sistemdeki her bir olası hata türünün sınıflandırılması için analiz edildiği ve gerekli olan hata türleri için önlem alma çalışması yapılan bir metodolojidir.

Yani, H.T.E.A. üretim öncesiyle bağlantılıdır ve potansiyel hata türleri ve sebeplerinin sıralanmasını içermektedir. Yöntemin amacı, hataları önlemek ve müşteriye ulaştığında uygunsuzluğu ortaya çıkacak ürünlerin üretilmesini engellemektir. Potansiyel hata türleri belirlendiğinde, onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemler alınır veya sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyelleri azaltılır.

H.T.E.A. yöntemi her ne kadar ürün, süreç, sistem ve servis konularındaki olası hata risklerini önceden belirleyebilmek amacıyla kullanılan etkin bir yöntem olsa da söz konusu yöntemin de iyileştirmeye açık yönleri mevcuttur. Eleştiriye açık olan bu yönler göz önüne alınarak böyle bir çalışma gerçekleştirilmesi gereği duyulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde; öncelikli olarak hata ve güvenilirlik analizlerine değinilmiş ve hataların türlerine göre farklı şekillerde sınıflandırılması yapılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; H.T.E.A. yöntemi detaylı olarak açıklanmış, yöntemin çeşitleri, kullanıldığı alanlar, yararları gibi konulara değinilmiş ve yöntemin yetersiz kaldığı yerler belirtilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde; yapay sinir ağları (Y.S.A.), genel hatlarıyla anlatılmış, ağların çeşitleri, özellikleri, kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları ifade edilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde; yapay sinir ağlarının danışmansız öğrenme algoritmalarından biri olan Adaptif Rezonans Teorisi (A.R.T.) ağları detaylı olarak anlatılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde; A.R.T. ağlarının bir türü olan ve aynı zamanda çalışmanın temelini oluşturan Bulanık Adaptif Rezonans Teorisi (Bulanık A.R.T.) algoritması tüm yönleriyle ifade edilmiştir.

Çalışmanın yedinci ve uygulama bölümünde ise; kullanılan yöntemin çalışmaya yapacağı katkılar belirtildikten sonra çalışmanın hedefleri sunulmuştur. Bu hedeflere göre Bulanık A.R.T. algoritmasının adımları H.T.E.A. yöntemine adapte edilerek öncelikle etkin bir çalışma gerçekleştirebilmek için uygun sınıf sayısı tespit edilerek, algoritmada yer alan parametrelerin duyarlılıkları analiz edilmiştir. Daha sonra bu uygun sınıflandırmayı yapmayı sağlayabilecek, algoritmada kullanılan parametre değerlerinin uygun aralıkları tespit edilmiştir. Mevcut problem hem klasik H.T.E.A. yöntemi ile hem de çalışmadan elde edilen parametre değerleri kullanılarak Bulanık A.R.T. yöntemi ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmış ve bu tez çalışmasında uygulanan Bulanık A.R.T. Algoritmasının, klasik H.T.E.A. yönteminin zayıf kalan yönlerine yaptığı katkılar örnekler verilerek suretiyle detaylı olarak açıklanmıştır. Bu kısımda son olarak da, bulanık A.R.T. yöntemi bir daha kullanılarak elde edilen mutlaka önlem alınması gereken hata türlerinin yer aldığı sınıf için program daha yüksek uygunluk parametresi kullanılarak bir kez daha çalıştırılmış ve bu sınıftaki hata türleri kendi içinde yeniden önceliklendirilmiştir.

Çalışmanın sekizinci ve son bölümü olan sonuçlar ve öneriler bölümünde ise; elde edilen sonuçlar sunulmuş ve geleceğe yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Yapılan bu çalışma ile hedeflenenler ise;

- Hata türlerinin değerlendirilmesinin daha matematik tabanlı bir yöntemle yapılması
- Yaklaşımın, çalışma boyunca değinilen, klasik H.T.E.A. yönteminin yetersiz kaldığı kısımlara çözüm getirebilecek nitelikte olması.
- Hata türlerinin önceliklendirilmesi sürecinin katılımcıların deneyim seviyelerine olan duyarlılığından mümkün olduğunca uzaklaştırılması
- Yöntemin mümkün olduğunca basit ve kolay uygulanabilir olması

## 2. HATA VE GÜVENİLİRLİK ANALİZ TEKNİKLERİ

### 2.1. Hata Kavramı

Hata, bir birimin sahip olması gereken özelliklerinden sapması olarak tanımlanır. Bir sisteme, bir ürüne göre hata ise, istenen işlevlerin yerine getirilememesi durumudur. Bu durumda genelleştirilmiş ifadeyle hata, bir sistemin yada ürünün tanımlanan işlevlerini yerine getirme kabiliyetindeki kayıp olarak tanımlanabilir.

Diğer bazı hata tanımları ise;

- Belirlenen limitler dahilinde işlevini yerine getirmek için sistem veya sistem bileşenlerinin yeterli olmayışı
- Program isteklerinden, program işlemenin sapması şeklindedir [1].

Bir ürünün hatalı olarak nitelendirilebilmesi için aşağıda belirtilen koşulların oluşması gerekmektedir:

- Ürünün üretici tarafından hedeflenen özelliklerinden sapma göstermesi,
- Üretim operasyonlarının tamamen doğru olmasına karşın tasarımdan gelen olumsuzluklardan dolayı istenen fonksiyonu yerine getirememesi,
- Hedeflenen performansa ulaşamama,
- Gereken işaretleme ve ikazlandırmanın yapılmaması nedeniyle tehlike olasılığı bulunması,
- Ürünün satıcı veya üretici tarafından tanımlanan ve garanti edilen özelliklerde olmaması [2].



Müşteride güven duygusu yaratmak, kalitede süreklilik, fiyat – kalite – termin açılarından daha iyi rekabet edebilme, yüksek verimlilik gibi nedenlerden dolayı sistem içerisinde oluşan veya oluşma ihtimali bulunan hataların tespitinden daha ziyade, çalışmalar, hataları ortadan kaldırmaya yönelik olmalıdır.

### **2.1.1. Hataların sınıflandırılması**

Hatalar genel olarak meydana geldiği aşamaya göre, sonuçlarına göre, zamana göre ve nedenlerine göre hatalar olarak sınıflandırılırlar.

#### **2.1.1.1. Meydana geldiği aşamaya göre hatalar**

Meydana geldiği aşamaya göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

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

#### **2.1.1.2. Sonuçlarına göre hatalar**

Sonuçlarına göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

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

### **2.1.1.3. Zamana göre hatalar**

Zamana göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

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

### **2.1.1.4. Nedenlerine göre hatalar**

Nedenlerine göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

- Tasarım hataları; ürün ve tasarım amaçlarının, performans isteklerini ve müşteri beklentilerini karşılamadığında ortaya çıkan hatalar olarak tanımlanabilir.
- Malzeme hataları; malzeme üzerinde işlem yapan sistemin geometrisinin, özelliklerinin değişmesi veya imalat, depolama, elde tutma, taşıma, muayene, kullanım ve tamir işlemleri sırasında aşırı kuvvet uygulanması sonucunda, zorlanma ile oluşur. Malzeme hatalarını iki sınıfta toplamak mümkündür. İlki, aşırı kullanma hataları, diğeri ise aşınma – eskime hatalarıdır.
- Ölçme hataları; hesaplanan değerle ölçülen cismin gerçek değeri oranındaki farktır (ölçülen cismin gerçek ölçü değeri çok seyrek olarak bilinir). Bilimsel araştırmalar, sonuçları sayısal büyüklüklerle ifade edilebilen ölçmeler olmadan düşünülemez. İmalatta, mamul veya parçalar için dizayn aşamasında saptanan ölçülerin şekil verme işlemleri sonunda gerçekleşme derecesinin bilinmesi zorunludur. Ayrıca işlemlerin uygulanması esnasında yapılan ara ölçmeler, tezgah ve takımların ayarlanması, işlem süresinin gereksiz yere uzamaması ve dolayısı ile maliyetlerin düşürülmesi açısından büyük önem taşır. Ölçme sonuçlarındaki değişimin; biri imalat işlemleri diğeri ölçme aletleri olmak üzere iki kaynağı vardır. Ölçme tekniğinin temel sorunu, değişmelerin ne kadarının hangi kaynaktan olduğunu tespit etmektir.

- Karar verme hataları; karar verme süreci, elde hazır bulunan tüm seçeneklerden birini seçme sürecidir. Karar vermede amaç, sistemin istenen duruma gelmesini sağlamaktır. Karar verme durumunda olan kişi(ler), yani karar verici(ler) bazı nedenlerden dolayı, istenmeyen sonuçlara yol açacak hatalı karar verebilirler.
- Örneklem hataları; örneklem, özel durumlar dışında, daha ucuz, daha hızlı olduğu için %100 muayene yerine kullanılan bir muayene yöntemidir. Ancak, herhangi miktardaki ürünün kabul edilebilirliğine dönük yapılan kabul örneklemede daima bir hata yapma söz konusu olmaktadır. Kabul örneklemedeki bu hatalar iki sınıfta toplanır; kabul edilir nitelikteki bir parti ürünün kabul edilmemesi ile ortaya çıkan hatalar ve red edilmesi gereken bir parti ürünün kabul edilmesi ile ortaya çıkan hatalardır.
- Mekanik hatalar; bir yapının, makinenin veya ondan beklenen fonksiyonu tatmin edici derecede yerine getirme yetisine sahip olmayan bir makine parçasının boyutunda şeklinde veya malzeme özelliklerindeki değişimdir.
- Sistem hataları; sistemde kullanılan takım ve teçhizatlar kaçınılmaz olarak hata yaparlar ve bu durum tamamıyla güvenilir bir sistem için söz konusu değildir. Bir kalemin ne zaman hata yapacağını tahmin etmek olanaksızdır; hatta bir kalemin bir dahaki 30 saniye içinde hata yapmayacağını kesin bir şekilde söylemek bile mümkün değildir. Neticede takımın özel bir parçasının güvenilirliği üzerindeki tartışmalar tahminlerden daha ziyade istatistiksel analizler baz alınarak yapılır. İyi işletme dizaynları bir hatanın tanımlandığı ve önlendiği zaman aralığı içinde çalışmasını güvenli, mantıklı ve ekonomik olarak devam ettirebilme ve hataların etkilerini tahmin edebilme yeteneğine sahiptir.
- Yazılım hataları; ürün, donanım, vb. gibi hatalardan farklı bir yapı göstermektedir. Bilgisayar yazılım kopyaları orijinalleriyle aynı olduğundan bunların arasında değişiklik söz konusu değildir, dolayısıyla buna bağlı bir hata beklenemez. Yazılım hatalarının en önemli kaynağı insandır [1].

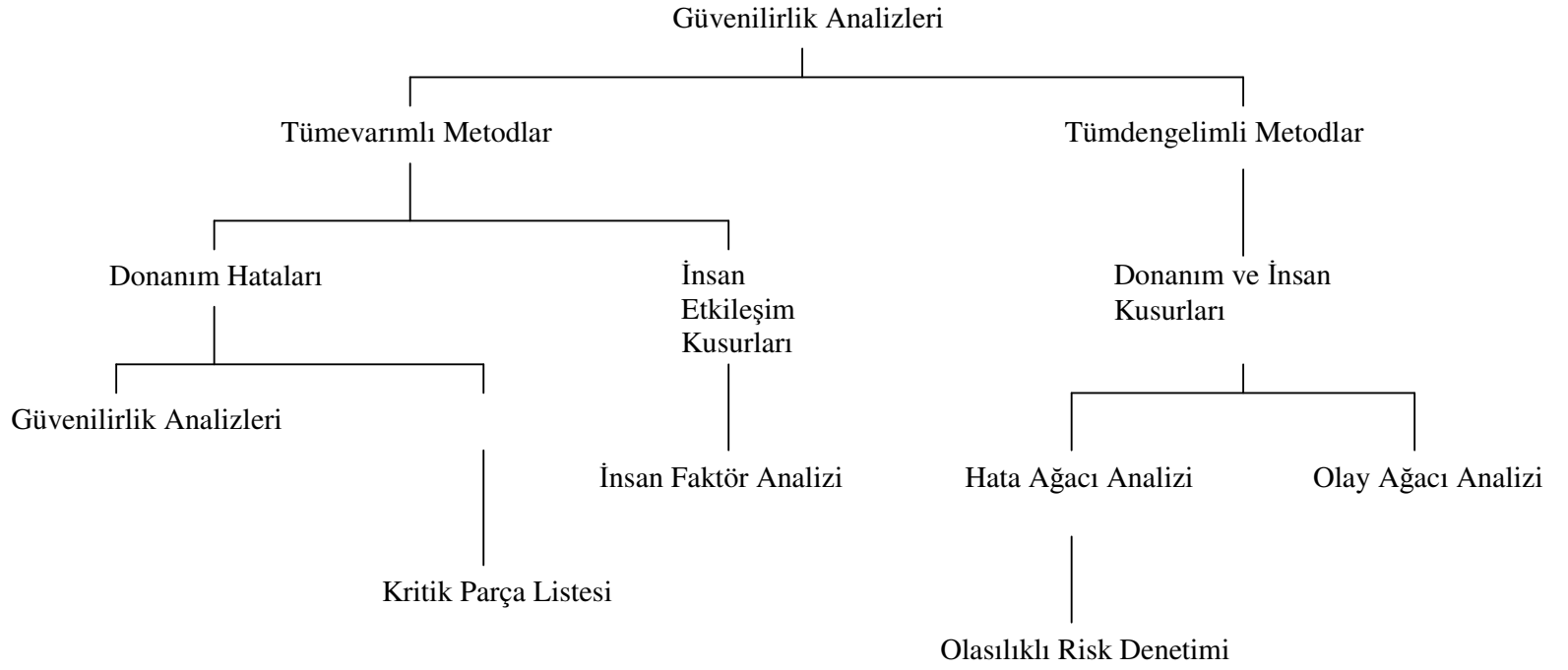
## **2.2. Güvenilirlik Analizleri**

Güvenilirlik, ürün kalitesinin en önemli kriteri olmasının yanında müşteri tatmini açısından da çok önemli bir göstergedir [3]. Güvenilirlik analizi, ürün ve süreç tasarımı aşamasında uygulanan bir analizdir. Bir ürünün ekonomik kullanma süresi veya ömrü kalite düzeyini belirleyen faktörler arasında yer alır. Genellikle ürünün ömrünü belirleyen süre ile beraber, bu süre içinde arıza yapmadan çalışma olasılığını dikkate almak gerekir.

Endüstride kullanılmakta olan bazı güvenilirlik analiz metotları şunlardır;

### **2.2.1. Hata ağacı analizi**

Hata ağacı analizi aşağıda Şekil 2.1. de görüldüğü gibi bir mantıksal diyagramı kullanarak potansiyel sistem hataları ile beklenen tehlikeleri birleştiren grafiksel bir akış şemasıdır [4].



Şekil 2.1: Güvenilirlik analizi uygulamaları [4]

### **2.2.2. Tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları (H.A.C.C.P.)**

Tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları (H.A.C.C.P.), gıda işletmelerinde, sağlıklı gıda üretimi için gerekli olan hijyen şartlarının (personel hijyeni, ekipman hijyeni, hammadde hijyeni, ortam hijyeni, vb.) belirlenerek bu şartların sağlanması, üretim ve servis aşamasında tüketici açısından sağlık riski oluşturabilecek nedenlerin belirlenmesi ve bu nedenlerin ortadan kaldırılması temeline dayanan bir ürün güvenilirliği sistemidir. Bu sistem, 1960 yılında Pillsbury şirketi tarafından Amerikan uzay programı için üretilen yiyeceklerde kalite kontrolü sağlamak amacıyla geliştirilmiştir [5].

### **2.2.3. Kök sebep analizi**

Kök sebep analizi Ford tarafından, iş süreçlerindeki problemlerle başa çıkmak için geliştirilmiştir.

### **2.2.4. Sebep sonuç diyagramı**

Balık kılçığı yada Ishikawa diyagramı olarak da bilinen sebep sonuç diyagramı, potansiyel sebeplerle bunların etkilerini direk olarak ilişkilendiren görsel bir yöntemdir.

### **2.2.5. Hata türü ve etkileri analizi (H.T.E.A.)**

H.T.E.A. yöntemi, Amerikan firmalarının küresel rekabette 1950'li yıllardan itibaren kazandıkları başarının 1970'li yıllarda gittikçe etkisinin azalması ile eskiden sahip oldukları rekabet üstünlüğünün tekrar elde edilmesi çabaları sonucunda geliştirilmiş ve yaygınlık kazanmış, geleneksel güvenilirlik ve güvenlik analizi tekniklerini kullanan, önleyici yönü ön planda, sistematik bir sürece sahip olan bir kitle aracıdır [6,7].

### **3. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ**

Hata türü ve etkileri analizi (H.T.E.A.) büyük sistem bileşenlerinin hatalarının etkilerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır [8].

#### **3.1. H.T.E.A. Tanımı**

Aşağıda F.M.E.A için yapılmış farklı tanımlamalar yer almaktadır;

H.T.E.A.; bir ürünün veya hizmetin potansiyel hatalarını tanımlayan ve daha sonra hatanın etkisini ve frekansını belirleyen bir yaklaşım disiplini [9].

H.T.E.A.; bir ürün, işlem veya hizmette meydana gelebilecek tüm hasar ve hata tiplerinin sistematik analizine dayanarak, bu hasar ve hataları önleme faaliyetlerini içeren bir yöntemdir [10].

H.T.E.A.; riskleri tahmin ederek hataları önlemeye yönelik güçlü bir analiz tekniğidir.

H.T.E.A.; sistem, tasarım, süreç veya serviste oluşması mümkün hataların değerlendirmesini yapan ve bu tür hataların (problemler, yanlışlar, riskler vs.) değerlerinin sürekli iyileştirilmesi ve azaltılmasını hedefleyen özel bir metodolojidir [11].

H.T.E.A.; bir ürün ya da süreçte bilinen veya ortaya çıkması mümkün olan hataların, geçmişteki deneyimler ya da teknoloji kullanılarak saptanması ve bu hataların oluşmaması için yapılan sistematik planlamadan oluşan analitik bir tekniktir [12].

H.T.E.A., yüzlerce hata türü için iyileştirme yapılmasının planlanması yerine, sistemin bütünü üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendiren bir yöntemdir [13].

Bir başka deyişle, H.T.E.A. üretim öncesiyle bağlantılıdır ve potansiyel hata türleri ve sebeplerinin sıralanmasını içermektedir. H.T.E.A.'nın belirlediği gerekli aksiyonlar, hataları önlemek ve müşteriye ulaştığında uygunsuzluğu ortaya çıkacak ürünlerin üretilmesini engellemektir. Amacı; nihai ürünün müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşıladığından emin olmak için, planlanan imalat ve montaj süreçleriyle bağıntılı olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini analiz etmektir. Potansiyel hata türleri belirlendiğinde, onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemler alınır veya sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyelleri azaltılır. Aynı zamanda bir “hata türü ve etkisi analizi”, geliştirilen, montaj veya imalat süreci için, sistemin dayandığı neden ve ilkeleri de doküman eder [14].

Müşteri beklentileri ve yönetmelik gereklerinden ötürü, potansiyel problemleri belirlemek ve önlemek için gerekli bir tekniğin kullanım disiplinine olan gereksiniminin gün geçtikçe artmasından dolayı, imalat ve montaj süreç H.T.E.A.'ları problemleri oluşmadan önlemeye disipline olmuş bir yaklaşım sağlamak amacıyla, uzay endüstrilerinde, endüstrilerin lokomotifleri otomotiv sanayinde ve kritik güvenlik gereken diğer endüstrilerde sıklıkla kullanılmaktadır [15].

H.T.E.A., ürünlerdeki bilinen veya olası bulunan hataları kullanıcılara ulaşmadan önce tanımlama ve ortadan kaldırmaya yönelik bir mühendislik tekniğidir.

Bir erken uyarı ve önleme yöntemi olarak kabul edilen bu teknik, tasarımcıya ileride ortaya çıkabilecek hataların analizi için sistematik bir metodoloji sunar. Aslında günümüzde tekniğin uygulama alanları sadece tasarım ile sınırlı olmayıp sistem, süreç ve servis veya bakım alanlarına da uygulanabilir hale getirilmiştir. Analiz sırasında yukarıda bahsedilen süreçlerde hangi hataların ortaya çıkabileceği ve sebepleri incelenir. İkinci aşamada bu hatanın tüm sistemi nasıl etkileyebileceği ortaya konur. Daha sonra ise hata sebeplerinin ortaya çıkma olasılığı, şiddeti ve keşfedilebilirliği tahmin edilmeye çalışılır. Bu aşamalarda ağırlıklı olarak geçmişte



yaşanan tecrübeler ve H.T.E.A. çalışmasını gerçekleştiren grubun katılımcılarının tecrübeleri ön plana çıkar. Daha sonraki aşamalarda ise bu hatalardan öncelikli olanların ortadan kaldırılmaları için gereken önlemler alınmaya çalışılır. Tüm faaliyetin genel hedefi, olası hataları kullanıcıya ulaşmadan ortadan kaldırabilmektir.

İyi bir H.T.E.A. çalışması;

- Bilinen veya olası hata türlerini ortaya çıkarır,
- Her hata türünün nedenlerini ve etkilerini tanımlar,
- Olasılık, şiddet ve keşfedilebilirliğe bağlı olarak hata türlerinin önceliğini ortaya çıkarır,
- Önceliklendirilen hata türlerinden seçilenlerin ortadan kaldırılmasına yönelik faaliyetleri destekler,
- Firmalarda çalışmaların grup sinerjisi içinde yürütülmesi ve problemlerin sistematik yaklaşımlar ile çözülmesine yönelik genel bilinç artışı destekler [2,16].

### **3.2. H.T.E.A. Yönteminin Başarıyla Uygulanması İçin Gerekli Şartlar**

H.T.E.A. metodunun amacı, sistem bileşenlerinin olası hata türlerini tanımlamak ve belirlenen bu hata türlerinin sistem performansı üzerindeki etkisini değerlendirmektir [17].

H.T.E.A. yönteminin uygulanabilmesi için aşağıda belirtilen dört adet ön şartın herkes tarafından anlaşılması ve takip edilmesi gerekmektedir.

- Öncelikle müşteri belirlenmelidir.
- İncelenen fonksiyon ve amaç herkes tarafından bilinmelidir.
- Problemlerin önceliği belirlenmelidir.
- Düzeltici faaliyetlerden devamlı iyileşme sağlanmalıdır.

Başarılı bir H.T.E.A. uygulaması:

- Her hatanın sebeplerini ve etkenlerini belirler
- Potansiyel hataları tanımlar.
- Olasılık, şiddet ve keşfedilebilirliğe bağlı olarak hataların önceliğini çıkarır.
- Problemlerin takibini ve düzeltici faaliyetlerin alınmasını sağlar [11].

H.T.E.A. uygulamasının kapsamı, problemin karmaşıklığına bağlıdır. Bu bağlantı aşağıda verilen başlıklarda ortaya konmaktadır:

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

Yukarıda verilen parametreleri dikkate alarak yapılacak bir H.T.E.A. çalışmasında aşağıda verilen dört husus tam olarak anlaşılmalı ve ortaya konmalıdır.

- Tüm problemler aynı değildir. Süreçlerin değişik noktalarında ortaya çıkan problemler aynı öneme sahip değildir. Problemlerin bir öncelik sırası olduğu herkes tarafından kabul edilmelidir. H.T.E.A. uygulamaları bu durumun tam olarak anlaşılmasına da yardım eder.

- Hedef müşteri bilinmelidir. H.T.E.A. uygulamalarına başlamadan müşterinin beklentilerinin en azından bazı öncelikli parametreler çerçevesinde tanımlanmış olması büyük önem taşır. Burada müşteri kavramının, ilk olarak, ürünü H.T.E.A. uygulanan süreci takiben kullanacaklar ve daha sonra kullanacaklar olmak üzere iki aşamada ele alınmasında fayda vardır.
- Ürünün fonksiyonu bilinmelidir. Ürünün fonksiyonunun bilinmesi sonucun doğruluğu ve verimi açısından çok önemlidir. Çalışmanın başında, ilave zaman harcanarak ürünün fonksiyonunun tüm katılımcılarca tam olarak anlaşılmasını sağlamak kesinlikle zaman kaybı olarak düşünülmemelidir.
- Çalışma kesinlikle önleyici hedeflere yönelik olmalıdır. Bazen H.T.E.A. çalışmalarının sadece müşterinin resmi taleplerini karşılamak veya firma üst yönetiminin beklentilerini yerine getirmek için yapıldığı durumlarla karşılaşmaktadır. Bu tarz bir çalışmanın firmalara getireceği sadece zaman kaybı olup, bir süre sonra yeni tekniklerin saygınlığının azalacağı da göz ardı edilmemelidir [2].

### **3.3. H.T.E.A. Metodunun Kronolojik Literatür Taraması**

H.T.E.A. tekniği şekilsel bir yapıda ilk defa, N.A.S.A.'da uzay gemilerinin yapımında güvenilirliğin sağlanması amacıyla kullanılmıştır. Bunun yanında 1950'li yıllarda, Boeing ve Martin Marietta şirketlerinin genel olarak yöntem ve mühendislikteki uygulama sürecini tanımladıkları bir el kitabı oluşturdukları da bilinmektedir. Aşağıda 1960'lı yıllardan günümüze kadar H.T.E.A. alanına getirilmiş katkılar kronolojik olarak listelendirilmiştir:

1960- 1975 yılları arasında N.A.S.A. tarafından, 1969 yılında aya ilk insan indirecek olan APOLLO projesinde uygulanmaya başlamıştır. Aya insan indirecek olan ürünün tek ve çok pahalı olması nedeniyle hiçbir arızayla karşılaşmaması istenmekteydi. Bunu sağlamak için H.T.E.A. uygulanmıştır.

1962 – 1970 yılları arasında A.B.D. Silahlı Kuvvetlerinde, problemleri analiz etme yolu olarak kullanılmıştır.

1965 – 1975 yılları arasında, H.T.E.A.’nın ilk endüstriyel uygulamasını 1975 yılında Japon N.E.C. firması başlatmış ve daha sonra bu uygulama bütün dünyada yaygınlaşmıştır.

1980 yılında FORD tarafından otomotiv sanayinde uygulamaya başlatılmış, sistemde değişiklik yapılarak karmaşık olan askeri uygulamalar basitleştirilmiştir.

1985 yılında FIAT şirketinde uygulanmaya başlanmıştır.

1990 yılında H.T.E.A. metodu, montaj tekniğinde ve rüzgar türbini jeneratörlerinde uygulanmıştır [18,19].

1991 yılında, İngiliz tren yolu ve otomotiv endüstrisinde süreç ve tasarım H.T.E.A. uygulanmıştır [20].

1992 yılında, H.T.E.A. matrisi ve risk öncelik göstergesi birleştirilmiş, H.T.E.A. metodu için rassal sonuçlar kullanılmış ve kara tahta modeli sunulmuştur. Model zeki sistemlerin analizi ve tasarımı için problem çözüm yaklaşımını göstermektedir [21-23].

1993 yılında, H.T.E.A. ile gerçek zaman kontrol sistemlerinin güvenliği sağlanmıştır. Devre analizi ve FMEA bir arada kullanılmıştır. Böylelikle sistemin daha çok güvenilirliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. H.T.E.A. bilgisayarla bütünleşik imalatta kullanılmıştır. H.T.E.A., bilgi kaynaklarını kontrol etmek ve birleştirmek amacıyla kullanılmıştır. H.T.E.A. ile eşitlik ilişkilerinin matematiksel kavramları araştırılmıştır [24-28].

1994 yılında, sonlu elemanlar simülasyonu ve H.T.E.A. birlikte kullanılmıştır. H.T.E.A. yöntemi yarı iletkenlerin imalatında uygulanmıştır [29,30].

1995 yılında, hata türleri ve etkilerini açıklarken bulanık bilişsel haritalar kullanılmıştır [31].

1996 yılında, tasarım süreçleri için H.T.E.A. otomasyonu kullanılmıştır. Gelişmiş H.T.E.A. için sistem davranışı modellenmiştir. Uzay aracı turbo pompaları için H.T.E.A. implementasyonu önerilmiştir [32-34].

1997 yılında, H.T.E.A. yönteminde anlatılan kavramlar ve metotlar, maliyetler ve risklerle kullanılmıştır. H.T.E.A. yöntemi kalite fonksiyon yayılımı yönteminin ardından uygulanmıştır [35,36].

1998 yılında, H.T.E.A. tekniği, beyin fırtınası toplantılarında ilk önce hangi departmandan başlanacağını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Fonksiyonel modeller kullanılarak mühendislik sistemlerine H.T.E.A. tekniği uygulanmıştır. Çoklu hatalar için H.T.E.A. kullanılmıştır. Isı transfer sistemlerine H.T.E.A. tekniği uygulanmıştır [37-40].

1990 yılında, Web tabanlı H.T.E.A. uygulaması geliştirilmiştir. Gözleme sistemine H.T.E.A. tekniği uygulanmıştır. Endüstrideki genel hata risklerini belirlemek için modifiye edilmiş FMEA kullanılmıştır [41-43].

2000 yılında, dinamik ölçüler kullanılarak risk tahmin metodolojisi geliştirilmiştir. Web sistemine H.T.E.A. uygulanmıştır. Riskler farklı bir yolla değerlendirilirken H.T.E.A. prosedürü kullanılmıştır. H.T.E.A. için karar destek sistemi sunulmuştur. Yöntemde bulanık modelin kurallarını elde etmek için AHP kullanılmıştır [44-47].

2001 yılında, H.T.E.A. yönteminin modellemesi ve analizinde Bayes kullanılmıştır. Her bir karar verme kriteri (şiddet (S), olasılık (O) ve keşfedilebilirlik (D)) bulanık alt küme olarak ele alınmıştır [48,49].

2002 yılında, makine sistemleri için bulanık mantık tabanlı H.T.E.A. kullanılmıştır. Ürün tasarımında önce kalite fonksiyon yayılımı tekniği, daha sonra H.T.E.A. tekniği ve son olarak da analitik hiyerarşi süreci kullanılmıştır. Çoklu hatalar için

otomatikleştirilmiş H.T.E.A. önerilmiştir. Yemek fabrikasında H.T.E.A. yöntemi H.A.C.C.P. ile birleştirilmiştir. Deniz sistemlerinde H.T.E.A. yöntemi kullanılmıştır [50-54].

2003 yılında, güvenilirlik ve dayanıklılığı arttırmak için maliyet tabanlı H.T.E.A. kullanılmıştır. İlaç endüstrisinde H.T.E.A. test sterilizasyonu ayırıcısında uygulanmıştır. H.T.E.A.; risk belirleme, risk ölçme ve risk değerlendirme için kullanılmıştır. H.T.E.A. tekniğinin karar verme aşamasına, maliyet kısmı da eklenmiştir. Ayrıca karar verme bölümüne basit toplamli ağırlıklandırma ve ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English) yöntemleri de katılarak, karar verme bölümü daha objektif hale getirilmiştir. H.T.E.A. yöntemine bulanık kurallar ve grey ilişki teorisi entegre edilmiştir. Maliyet tabanlı H.T.E.A. uygulaması için ampirik veri kullanımı önerilmiştir [55-61].

2004 yılında, güvenlik sistemlerinin hata türü ve etkileri analizini otomatikleştirmek için yöntem önerilmiştir. H.T.E.A. tekniği Bayes modeli kurmak için kullanılmıştır. Nükleer reaktör problemlerinde H.T.E.A. yöntemine bulanık ara yüz uygulanmıştır. Hata riski, maliyet de göz önünde bulundurularak ele alınmıştır. Turbo fan motoru için H.T.E.A. ve alan – deneyimi karşılaştırılmıştır. Pompa kullanımında H.T.E.A. tekniği önerilmiştir. Bilgisayar yazılım tasarımına H.T.E.A. yöntemi uygulanmıştır. H.T.E.A. yöntemi bilgi modellemede kullanılmıştır. H.T.E.A. yazılım programı medikal ekipmanların önleyici bakımı için kullanılmıştır. H.T.E.A. yöntemi yazılım ihtiyaçlarına göre adapte edilmiştir. Nükleer mühendislik problemlerinde bulanık H.T.E.A. yöntemi uygulanmıştır. Devre plakasında geliştirilmiş H.T.E.A. yöntemi kullanılmıştır. Mekanik termostat parçaları, müşteri gereksinimi ve beklentileri kriter alınarak analitik hiyerarşi süreci ile önceliklendirmiş ve önceliklendirilen parçalara tasarım H.T.E.A. yöntemi uygulanmıştır [15, 62-70, 8, 71,72].

2005 yılında, H.T.E.A. yöntemi için bulanık mantık ve veri zarflama bir arada kullanılmıştır. Yazılım güvenliği tasarımını arttırmak için H.T.E.A. yöntemi uygulanmıştır. Eko – yenilikçi ürün tasarımı aracı, H.T.E.A. yöntemi ile birlikte kullanılmıştır. H.T.E.A. yönteminde ürünün kavramsal tasarım aşaması boyunca

minimum bilgiyi kullanan bir metod geliştirilmiştir. H.T.E.A. yönteminde bulanık kümeler kullanılmıştır [73-77].

2006 yılında, otomotiv endüstrisinde otomatik elektrik güvenliği analizi için H.T.E.A. yöntemi kullanılmıştır. H.T.E.A. yöntemi, elektrik motoru kontrol sistemine uygulanmıştır. Risk değerlendirme yaklaşımı H.A.Z.O.P.' a (Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi) uygulanmıştır. Bu sebeple, ilk olarak risk öncelik göstergesi (R.Ö.G.) için geleneksel H.T.E.A. kullanılmış ve H.A.Z.O.P.' a uygulanmıştır. Daha sonra H.A.Z.O.P. – R.Ö.G. kavramı yaratılmıştır. Karar verme ile ilişkili etkin bir metodoloji geliştirilmiştir [78-81].

2007 yılında, nükleer mühendislik sistemlerinde risk analizine alternatif bir yaklaşım olarak bulanık ara yüz kullanılmıştır [82].

### **3.4. H.T.E.A.' nın Uygulanma Nedenleri Ve Özellikleri**

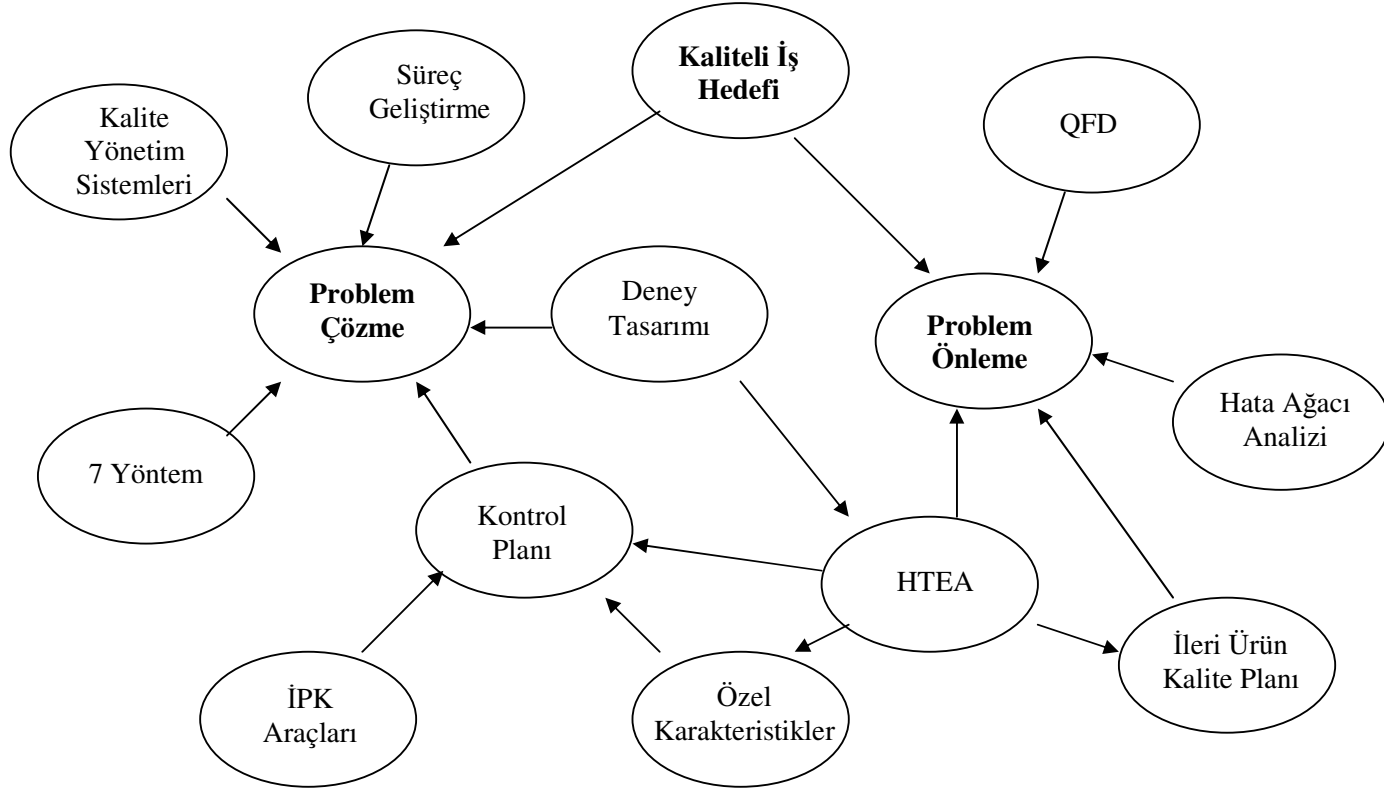
Yazılı kaynaklarda kısaca H.T.E.A. olarak tanımlanan Hata Türü ve Etkileri Analizi sürekli iyileştirme amacına hizmet eden bir tekniktir. Bu teknik, gelecekte ortaya çıkması söz konusu olan olası hata şekillerini, bu hataların olası etkilerini ve olası nedenlerini belirleyip, ortaya çıkmalarını önlemeyi amaçlar. H.T.E.A., yukarıda belirtilen bu özelliklerinden dolayı Toplam Kalite Yönetimi'nde önemli bir yere sahiptir.

H.T.E.A., sistem, tasarım, süreç ve serviste, hatalar müşteriye ulaşmadan önce, erken safhalarda önleyen en önemli yaklaşımlardan biridir.

H.T.E.A.' da değerlendirme analizi iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Birinci olarak, hatayı tanımlamak için geçmişe yönelik verileri kullanılmaktadır. Örneğin, garanti verileri, müşteri şikayetleri ve diğer uygun veriler. İkinci olarak ise, istatistiksel sonuçlar, matematiksel modeller, simülasyonlar, eş zamanlı mühendislik ve güvenilirlik mühendisliği gibi yöntemler hataları tanımlamak ve belirlemek amacıyla kullanılabilir.

H.T.E.A. yöntemi, riskleri azaltma yollarını arayan bir teknik olması nedeniyle, söz konusu iş en iyi şekilde yapılmakta ve sonraki aşamaya hatasız olarak ulaşmaktadır. Böylece ortaya çıkması muhtemel hataların önlenmesi sayesinde tasarımlar, süreçler ve sistemler daha güvenilir olacaktır. Bu özelliklerinden dolayı H.T.E.A. şekil 3.1.'de gösterildiği üzere, Toplam Kalite Sistemi içerisinde de önemli bir role sahiptir. H.T.E.A. aynı zamanda birçok kararın verildiği bir süreci içerir. Olası hata şekillerinin, nedenleri ve etkilerinin neler olacağı, çeşitli muhtemel durum ve koşullar değerlendirilerek kararlar verilmesiyle belirlenir. Ancak bu kararlar belirsizlik altında verildiğinden bu durumda H.T.E.A., risk altında karar verme yöntemi olarak da tanımlanır.





Şekil 3.1: H.T.E.A. yönteminin kalite içerisindeki yeri [83]

### 3.5. H.T.E.A.'nın Genel Amaçları Ve Yararları

“Herşey kalite için” yaklaşımı, H.T.E.A.’nın hareket noktası olduğundan üretimde hataların önlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Amaç bugün ve gelecekte çıkacak problemlere karşı önlem almak ve hataları müşteriye ulaşmadan önleyerek, “0” hatalı ürün üretmek, hataları engellemektir. Hataların önlenmesi, iyi bir planlama, sıkı takip, analiz, değerlendirme ve modern tekniklerin uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir [84].

Firma yöneticilerinin öncelikli amacı imalat süreçlerinin tamamında halihazırda var olan veya oluşması muhtemel riskleri tanımlamak ve azaltmaktır. Süreçlerdeki riskler genel olarak girdilerdeki değişkenliklerden kaynaklanır. Değişkenlikler ise süreçlerin doğasından kaynaklanan genel değişkenlikler ve bazı beklenmeyen etkilerden kaynaklanan özel değişkenlikler olarak iki gruba ayrılır. H.T.E.A. çalışmaları yukarıda bahsedilen her iki gruptaki değişkenliklerin yönetimine yönelik olmakla birlikte, öncelikli hedef ikinci gruptaki değişkenliklerin ortadan kaldırılması veya azaltılmasıdır.

H.T.E.A. çalışmasının aşağıdaki durumlarda başlatılması gerektiği düşünülür:

- Yeni bir sistem,ürün, süreç veya servis/bakım operasyonu tasarımı söz konusu olduğunda,
- Herhangi bir nedenden dolayı mevcut sistem, ürün, süreç veya servis/bakım operasyonunda temel bir değişiklik söz konusu olduğunda,
- Sistem, ürün, süreç veya servis/bakım operasyonlarında bir geliştirme düşünüldüğünde [85].

Bu doğrultuda yapılan çalışmaların detaylı olarak faydaları ise aşağıdaki gibidir:

- Ürünlerin veya hizmetlerin kalite, güvenilirlik ve emniyetini geliştirir,
- Ürün, süreç ya da hizmette hataların oluşturacağı en küçük bir zararın bile oluşumunun engellenmesini sağlamak için hata türlerini sistematik olarak gözden geçirir.

- Ürün, süreç, hizmet ya da bunların fonksiyonelliğini etkileyebilecek her türlü hatayı ve bu hatanın etkilerini tanımlar.
- Montajda, montaj öncesinde, üründe ve süreçte hataların oluşum olasılığını ve bunun nereden kaynaklanabileceğini (dizayn, operasyon, 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 yaratacağı etkileri tanımlar.
- Yüksek riskli bileşenlerin nasıl güvenilir hale getirilebileceğini tanımlar.
- Montaj hatalarının olabilecek kötü etkisinin nasıl giderilebileceğini tanımlar.
- Gelişim isteği doğurur.
- Organizasyon kültürünü artırır.
- İç ıskartaları azaltır
- Şirketlerin toplumdaki imajını ve rekabet edebilirliğini geliştirir,
- Müşteri tatmininin artmasına fayda eder,
- Riski azaltmak için yapılan faaliyetlerin izlenmesini ve belgelenmesini sağlar,
- Tezgahlarda, donanımda ve kalıplarda olası değişikliklerin daha tasarım sırasında görülmesini ve kağıt üzerinde yapılan değişikliklerin maliyetinde azalma sağlar,
- Muhtemel hataların önceden görülmesi ve elimine edilmesi sonucunda, ürünün hazır olma ve pazara sunuş süresini kısaltır,
- Müşteri kullanımı sonrasında oluşacak hatalarında dikkate alınıp önlenmesi sonucunda garanti giderlerinde azalma sağlar,
- Ürün yükümlülüğünde daha az risk alınır,
- Azalan süreç içi hurdalar, erken işbirliği, planlama kabiliyetindeki artış, hata maliyetlerinde azalma, sistemin tümüne bakabilme
- Hataları ve sorunları erken aşamalarda belirleyerek, ucuz ve kolay çözüm imkanı yaratılır,
- Yeni bir ürün geliştirilmesi için gereken zamanı ve maliyeti azaltır,
- Mühendislerin, ürün/süreç sorunlarına öncelik vermesine ve bunların ortadan kaldırılmasına odaklanmalarına yardım eder ve/veya problemlerin oluşmasını önler

- Süreç kontrol yetersizliklerini erken aşamalarda belirleyerek sağlam kontrol planları oluşturulmasına yardım eder,
- Tasarım, imalat, montaj, satın alma, kalite, servis, satış ve pazarlama gibi farklı ekiplerin fikirlerinden faydalanılarak, sinerji yaratır,
- Test ve tasarım kontrolü yetersizliklerini erken bir aşamada belirleyerek, sağlam tasarım doğrulama planları oluşturulmasına yardım eder,
- Sürekli iyileştirme sağlar,
- Ürünlerde rakiplere kıyasla belirgin fark yaratabilecek önceliklerin saptanmasına yardımcı olur,
- Ürün geliştirme faaliyetlerindeki önceliklerin belirlenmesine yardımcı olur,
- Yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesine yardımcıdır,
- Hurda ve firelerin azaltılmasını sağlar,
- Firmanın genel kalite geliştirme bilincinin artmasına ve grup çalışmalarının benimsenmesine ve geliştirilmesine yardımcıdır [86, 2].

### **3.6. H.T.E.A. Çeşitleri**

Yeni veya varolan bir ürün veya hizmet geliştirme tekniklerinden biri olan H.T.E.A.. sırasıyla sistem, tasarım, süreç ve servis adımlarından oluşmaktadır.

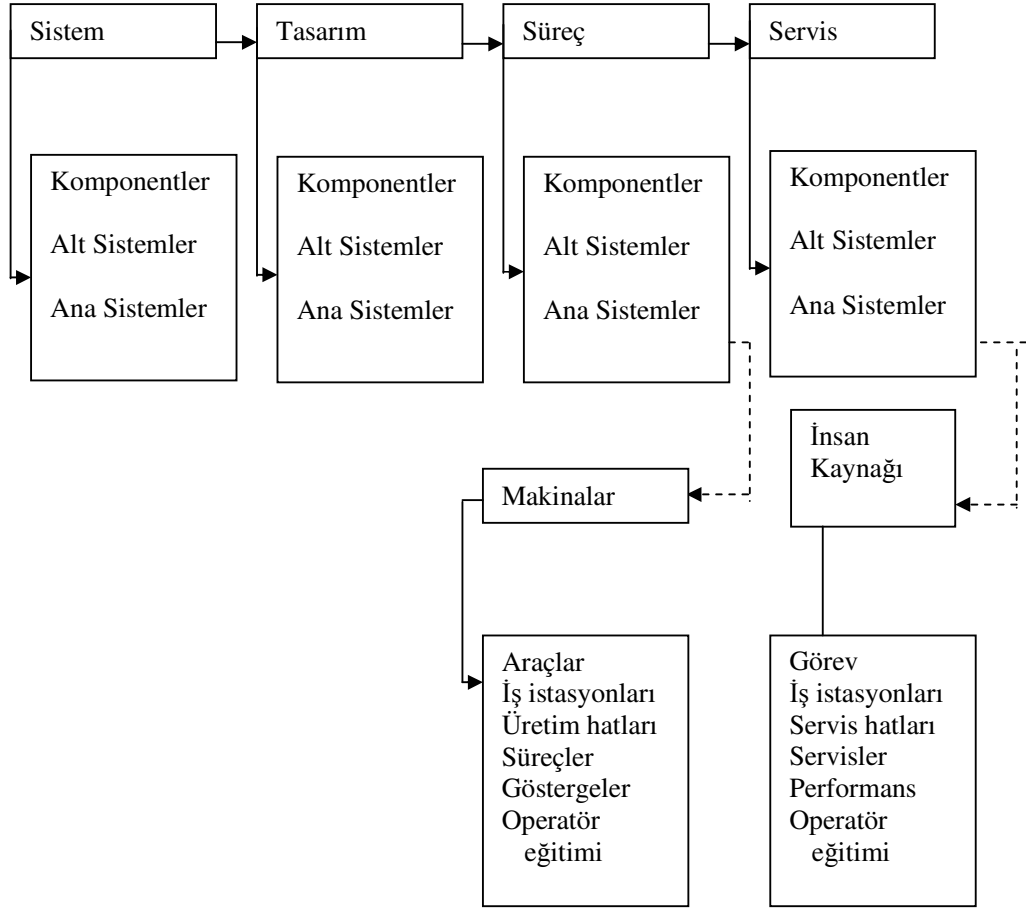
H.T.E.A. genel kullanım alanlarına göre,

- Sistem H.T.E.A.; Sistem ve alt sistemleri analiz ederek, sistemin eksiklerinden doğan sistem fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerini belirlemeye odaklanır. Hedefi, sistemin kalitesini, güvenilirliğini ve korunabilirliğini artırmaktır.
- Tasarım H.T.E.A.; üretim, makine veya ekipman tasarımı gibi tasarım aktiviteleriyle ilgilenir. Alt montaj, alt sistem veya bileşenler gibi küçük parçalar halindeki üretimin bozulmalarının adımlarını içerir. Her bir parça için potansiyel hata türleri ve potansiyel nedenleri belirler.
- Süreç H.T.E.A.; Üretim süreçlerine göre problemleri çözmek için kullanılır. Ürünün imalat adımlarının her birini gösteren bir süreç akış şemasıyla başlar. Süreç adımlarının her biri için potansiyel hata türleri ve potansiyel sebepler

tanımlanır. Daha sonra, üretim son kullanıcıları ve üretim hat operatörlerinde hataların etkileri tarafından mevcut kontroller belirlenir [68].

- Servis H.T.E.A.; Organizasyondaki aksaklıkların analiz edilmesine yardımcı olur. Bu analizin uygulanmasıyla; organizasyon faaliyetleri arasında önceliklendirme yapılması ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesi sağlanır [87].

Aşağıda Şekil 3.2.'de yukarıda bahsedilen H.T.E.A. çeşitlerinin birbirleri ile karşılaştırmalı olarak gösterimi yer almaktadır.



<p><b>Odak:</b> Sistemdeki hata etkilerini minimize etmek  <b>Amaç/Hedef:</b> Sistem kalitesini, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini maksimize etmek</p>	<p><b>Odak:</b> Tasarımdaki hata etkilerini minimize etmek  <b>Amaç/Hedef:</b> Tasarım kalitesini, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini maksimize etmek</p>	<p><b>Odak:</b> Toplam süreçteki, süreç hatalarını minimize etmek  <b>Amaç/Hedef:</b> Toplam süreç kalitesini, güvenilirliğini, sürdürülebilirliğini ve verimliliğini maksimize etmek</p>	<p><b>Odak:</b> Toplam organizasyon içindeki servis hatalarını minimize etmek  <b>Amaç/Hedef:</b> Kalite, güvenilirlik ve servis yolu ile müşteri memnuniyetini maksimize etmek</p>
--	--	---	---

Şekil 3.2 : H.T.E.A. türlerinin kendi aralarında karşılaştırılması [83]

### 3.6.1. Sistem H.T.E.A.

Sistem H.T.E.A.' da hedef; etkinlik ve performans faktörleri ile ekonomik faktörler arasında uygun bir denge oluşturmaktır. Bu hedefe ulaşmak için sistem H.T.E.A., müşterinin belirlenmiş ihtiyaç, istek ve beklentileri dikkate alınarak yapılmalıdır. Sistem H.T.E.A., sistem ve alt sistemlerin analiz edilmesinde kullanılır. Bir sistem FMEA çalışması, sistem yetersizliklerinden kaynaklanan sistemin fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerine odaklanır. Sistemler arası ilişkileri ve sistemin elemanlarını da kapsar [85].

Sistem H.T.E.A., aşağıda belirtilen sistem kademelerini ve aralarındaki ilişkileri ayrıntılı inceleyerek en uygun tasarım alternatifinin seçilmesine yardımcı olur.

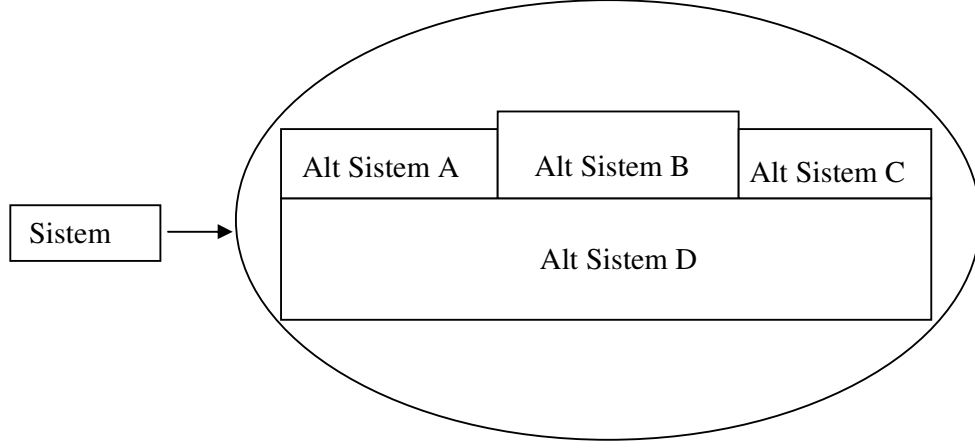
- Sistem, görevi bir misyonu veya işlevi başarmak olan alt sistemlerin birleşimi
- Alt sistem, fonksiyonları bir misyonu başarmak için gerekli spesifik aktiviteleri elde etmek için birleştirilen montajlar birleşimi,
- Montaj, alt montajların birleşimi,
- Bileşen, parçaların birleşimi,
- Parça, en düşük üretilebilen parça,
- Etkileşim, sistem elemanları arasında istenilen ve temel etkileri üretmek için gerekli etkileşim noktalarıdır.

Daha da anlaşılır hale getirmek için, sistem ile alt sistem arasındaki ilişki şekil 3.3'de gösterilmiştir. Alt sistem A, hem alt sistem B hem de alt sistem D ile etkileşim halinde olup etkileşim halinde olmadığı alt sistem C ile çevre içerisindeki transferler yolu ile bağlantı kurmaktadır. Alt sistem A ile alt sistem C arasındaki ilişkiyi tahmin etmek oldukça zordur.

Sistem H.T.E.A.'nın faydaları aşağıda sıralanmıştır;

- Sistemi etkileyen potansiyel problemlerin bulunabileceği alanlar daralır,
- Sistem içerisinde uygulanacak teşhis prosedürleri için bir temel oluşturulmasına yardımcı olur,

- Sistemdeki fazlalıkların tespit edilmesine yardımcı olur,
- Optimum sistem tasarım alternatifinin seçilmesinde yol gösterir [87].



Şekil 3.3 : Sistem ve alt sistem arasındaki etkileşim [4]

### 3.6.2. Tasarım H.T.E.A.

Tasarım H.T.E.A., tasarım hatalarından doğan hata türlerine yönelik olarak üretime başlamadan önce ürünlerin analiz edilmesinde kullanılır. Hedefi, tasarım kalitesini, güvenilirliğini ve korunabilirliğini artırmaktır.

Tasarım H.T.E.A. tasarımla ilgili hususları analiz eder. Bunlar;

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

Tasarım H.T.E.A. yönteminin amaçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:



- Ürünün çalışmasında ortaya çıkabilecek olası hasar ve hataların tiplerini, nedenlerini ve etkilerini tasarım ve geliştirme kademesinde belirlemek.
- Olası hataları Risk Öncelik Göstergesi (R.Ö.G.) değerlendirme yöntemini kullanarak, etkilerin şiddetine göre sıralamak ve buna göre tasarım, kontrol, iyileştirme ve geliştirme çalışmalarında öncelikli hasar ve hata tiplerini belirlemek.
- Hataları bertaraf etmek için önlemler üretmek.
- İlerdeki tasarım geliştirme, kontrol gibi faaliyetler için referans bilgiler oluşturmak.
- Tasarımın zayıf noktalarını bulmak ve bunları kuvvetlendirmek [88].

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. Tasarım H.T.E.A., tasarımın değerlendirilmesine yardım etmek ve düzeltici faaliyet öncelikleri oluşturulması esaslarını sağlamak için tasarımın ilk aşamasından son aşamasına kadar sürekli olarak uygulanmalıdır. Tasarım H.T.E.A., yinelemeli yapısıyla, bu isteğe uygunluk gösterir.

Etkin bir Tasarım H.T.E.A. çalışması için, değişim mühendisliği, ürün geliştirme, pazarlama vb. bütün teknik ve yöntemler iç içe olmalıdır.

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

Tasarım H.T.E.A.'nın sağladığı yararlar şu şekilde özetlenir;

Tasarımdaki olumsuzluklar, ürünün imalatı esnasındaki imalat süreci kontrol yöntemleri ile giderilemeyeceğinden, imalat sürecine güvenmeyi bırakıp çıkacak sorunlar başlangıçta Tasarım H.T.E.A. aşamasında önlenmeye çalışılmalıdır. Tasarım H.T.E.A. tekniğinde iki yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşımda, sistem yada ürün bir bütün olarak ele alınarak başlanır ve en alt birime kadar analiz edilir. Uygulamada kabul gören ikinci yaklaşımda ise, parça, bileşen gibi sistemlerin en alt düzeyindeki birimlerden başlanır, alt montaj, alt sistem gibi aşamaları geçerek sistemin yada ürünün en son düzeyine kadar ilerlenir. Yani ürün, kolay incelemek amacı ile bölümlere, alt elemanlara ayrılır, mühendislik dizayn verileri gözden geçirilir. Her bir montaj elemanının fonksiyonları, etkileri, ilişkileri değerlendirilir. Blok diyagramları kullanılır. Blok diyagramında montaj elemanları ve fonksiyonları listelenir [1].

Ürüne etkisi olabilecek operasyonel ve çevresel hata mekanizmaları tespit edilir, elemanların potansiyel hataları belirlenir. Bazı elemanların birden fazla potansiyel hataya sahip olması mümkündür. Potansiyel hataların bir sonraki montaj operasyonunda veya nihai üründe meydana getirebileceği sonuçlar analiz edilir. Hataları önleyecek veya kontrol altında tutacak düzeltici faaliyetler hazırlanır. Ürün elemanlarının hata olasılıkları deneyimlerden faydalanılarak tespit edilir, bu veriler doğrultusunda bütün sistemin hata olasılığı güvenilirlik teorisiyle hesaplanır [4].

### **3.6.3. Süreç H.T.E.A.**

Analiz üretim veya montaj sürecindeki eksiklerden doğabilecek hata türlerini ortadan kaldırmak, üretim ve montaj sürecini analiz etmek amacıyla hizmet etmektedir.

Montaj ve imalat sürecinde kullanılan makinalar, aletler, yöntemler ve operatörler analiz edilerek sürecin değerlendirilmesi ve zayıf noktaların tespiti amaçlanır.

En titizlikle uygulandığı durumlarda, H.T.E.A., süreç geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerini özetler. Bu sistematik yaklaşım, bir mühendisin normal olarak süreç

gereksinimlerini geliştirirken gözden geçireceği zihinsel disiplinle de paralellik gösterir.

Süreç H.T.E.A., yeni makine veya teçhizat süreçlerinin geliştirilmesine de yardımcı olur. Bu durumda metodoloji aynıdır ancak dizayn edilen makine veya teçhizat, ürün olarak düşünülür.

Süreç H.T.E.A., aşağıdaki hususlarla ilgili hata türlerini inceler;

- Takımlar veya aletlerle desteklenen veya desteklenmeyen otomatik, yarı otomatik işlemler
- Uzman personel tarafından elle yapılan işlemler

Aşağıdaki hususların uygunluğunu kontrol eder;

- Personel eğitimi
- Prosedürler ve makine çevrimleri
- Araçlar ve aletler
- Fabrika yerleşimi,
- Kontrol çevrimleri
- Kontrol gereçleri
- Bakım çevrimleri

Süreç H.T.E.A.'nın faydaları şöyle sıralanır;

Üretim veya montaj sürecinin analizine yardımcı olması ve düzeltici faaliyetlerin önceliklerini belirlemesi, kritik veya önemli olan özellikleri tespit etmede ve kontrol planı oluşturmada yardımcı olması, süreç aşamasında ortaya çıkacak hataları belirlemesi ve düzeltici faaliyetlerle ilgili plan sunması.

Bu tekniğin uygulanmasıyla potansiyel kritik veya önemli özelliklerin bir listesi hazırlanarak, bunlara yönelik öngörülen potansiyel faaliyetlerin listesi yapılır. Potansiyel hata türlerinin risk öncelik sayısı ile belirlenen listesi üzerinde, bu hata

türlerinin sebeplerini ortadan kaldıracak, ortaya çıkan hataları azaltacak ve katsayısı yardımıyla süreç yeterliliğinin geliştirilemediği durumlarda, hata nedenlerinin ve belirlenmesinin etkinliğini arttıracak potansiyel bir liste oluşturulur.

Süreç H.T.E.A., tasarımı yapılmış ürünün en az hata ile müşteriye ulaşmasını sağlamak amacıyla, öngörülen özelliklere uyulmadığında imalat veya hizmet esnasında ortaya çıkacak sorunları tanımlamaya çalışır. Bu amaç gerçekleştirilirken süreçte yapılacak iyileştirmeler, bu tekniğin aynı zamanda süreç geliştirme yaklaşımı olarak tanımlanmasını sağlar. Süreç H.T.E.A., kusursuz ürünler üretmek için analizcilere montaj veya imalat süreçlerinde kullandıkları makinaları, aletleri, süreçleri ve insan gücünün etkilerin analiz ederek, imalatın süreçlerini değerlendirebilme yani zayıf noktalarını belirleme olanağını verir [1].

Donanım hataları, çalışanların hataları, uygun olmayan malzeme ve yöntemlerin kullanımı sonucu oluşan hatalar, Süreç H.T.E.A. ile ürün üretime girmeden önce belirleneceğinden kusurları düzeltmek kolay olacaktır. Ancak, makine, malzeme, insan, yöntem, ölçme ve çevre olarak tanımlanan üretim bileşenlerinin arasında etkileşimlerin olması Süreç H.T.E.A.'nın daha zor ve zaman alıcı olarak tanımlanmasına neden olmaktadır [85].

Süreç H.T.E.A.;

- Süreç fonksiyonlarını ve ihtiyaçlarını tanımlama,
- Ürün veya süreç ile alakalı potansiyel hata türlerini tanımlama,
- Potansiyel hataların müşterilere etkilerini değerlendirme,
- Potansiyel hata durumlarını belirleme veya meydana gelişlerini azaltmaya odaklanan süreç değişkenlerini tanımlama,
- Süreç kontrollerine odaklanan süreç değişkenlerini tanımlama,
- Düzeltici ve önleyici hareketleri inceleyen öncelikli sistemleri kurma,
- Üretim veya montaj süreçlerinin sonuçlarını dokümanlaştırma, amacıyla kullanılır [4].

### **3.6.4. Servis H.T.E.A.**

Müşteriye servis henüz ulaşmadan analiz edilmesini sağlar. Bir Servis H.T.E.A. süreç veya sistem yetersizliklerinden kaynaklanan hata türü nedenleri üzerinde çalışır.

Bu analizin uygulanmasıyla, geliştirme faaliyetleri arasında önceliklendirme yapılması ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesi sağlanır. İş akışını sistem ve süreç analizini etkin bir şekilde gerçekleştirmek, isteki hataların ve kritik önemli işlerin belirlenmesi ve kontrol planlarının oluşturulmasında yol göstermek gibi avantajlar sağlar.

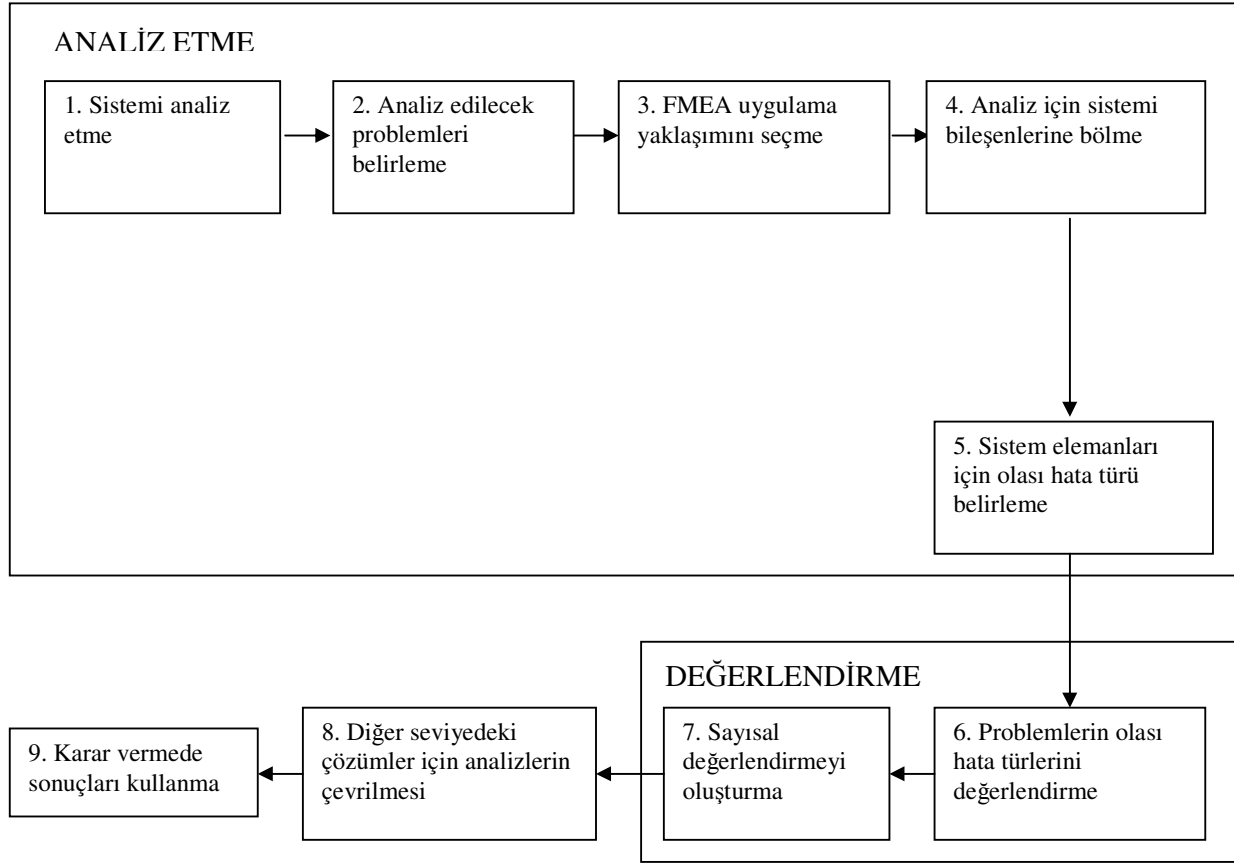
Servis H.T.E.A.'nın yararları:

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

### **3.7. FMEA Uygulama Süreci**

Son kullanıcı olan müşterilere etki eden olası hata türlerini, ürün gerçekleştirme veya hizmet sunmaya yönelik çalışmalar içerisinde belirleyen ve risklerini değerlendiren sistematik yaklaşım H.T.E.A. uygulama süreci şekil 3.4.'te gösterilmiştir.

H.T.E.A. yöntemi uygulaması ise, Şekil 3.5.'te gösterilen analiz formu üzerinde gerçekleştirilmektedir [4].



Şekil 3.4 : H.T.E.A. uygulama süreci [4]

HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZ FORMU														
Ürün: _____						Proje No: _____								
Çalışma Tarihi: _____				Ürünün Planlanan Üretim Tarihi: _____				Hazırlayan: _____				Ekip: _____		
Onay: _____														
Hata Türü	Etkiler	Sebepler	Mevcut Kontrol	Mevcut Durum				Öneriler	Sonuç					Sorumlu
				Olasılık	Şiddet	Keşf.	RÖG		Yapılan	Olasılık	Şiddet	Keşf.	RÖG	

Şekil 3.5 : H.T.E.A. yöntemi analiz formu [59]

### **3.7.1. Olası hatalar**

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

### **3.7.2. Olası hata etkileri**

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

### **3.7.3. Olası hata nedenleri**

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



### 3.7.4. Değerlendirme

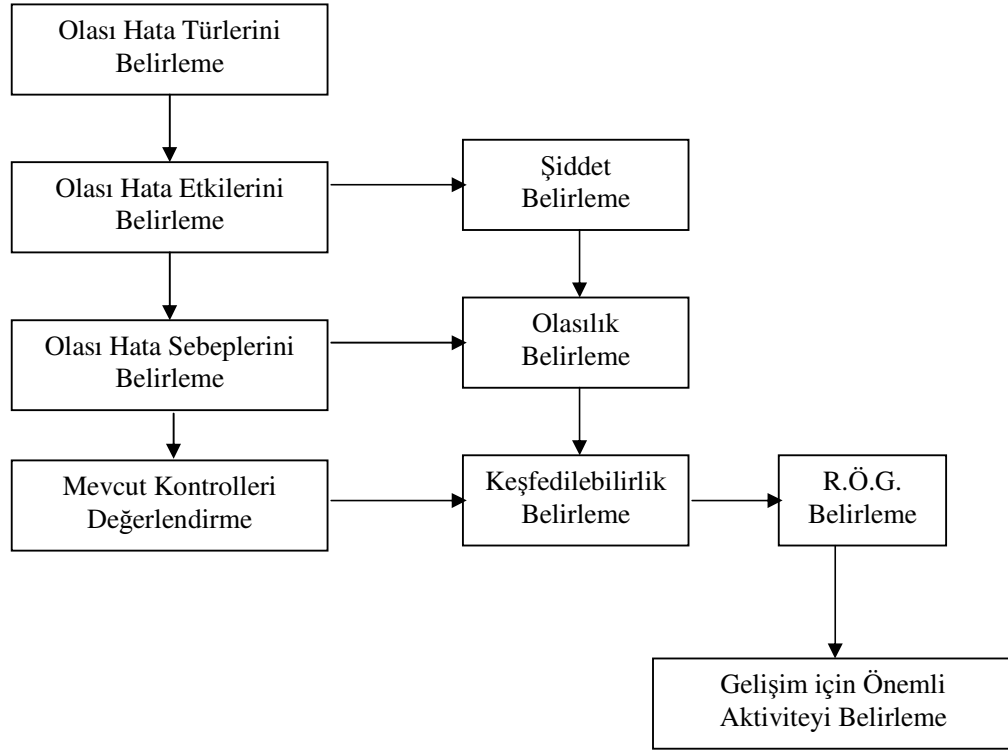
Değerlendirme aşamasında olası hataların kritikliğine göre sıralama işlemi yapıldığında kritikliği belirleyen ölçüt, kritiklik sayısı veya onun eşdeğeri olan “Risk Öncelik Göstergesi – (R.Ö.G.)” dir. R.Ö.G., risk faktörlerinin olasılık değerleri kullanılarak hesaplanır. Ancak uygulamada işlem kolaylığı sağlamak amacıyla risk durumu, olasılıksal bir değer yerine sayısal büyüklük olarak ifade edilir.

RÖG, hata oluşma ve tespit edilebilirlik risk faktörlerinin olasılıkları ile ağırlık risk faktörünün sözel olarak tanımlanan değerlerine belirli aralıkta sayılar atanıp matematiksel işlemler yapılarak bulunur. Risk öncelik göstergesinin bir değeri veya anlamı yoktur, sadece hataların kritiklik yönünden göreceli olarak karşılaştırılmasını ve sıralanmasını sağlar.

Aşağıda şekil 3.6.’da H.T.E.A. uygulama sürecindeki analiz etme ve değerlendirme basamakları arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Önceliğin belirlenmesi metodun en önemli noktası olup, bunu sağlayan üç kriter şunlardır;

- Olasılık, oluşma ve hatanın frekansıdır,
- Şiddet, hatanın ciddiyeti, ağırlığı ve etki gücüdür,
- Keşfedilebilirlik, müşteriye ulaşmadan önce fark edilebilirliktir.



Şekil 3.6 : H.T.E.A. uygulama sürecindeki analiz etme ve değerlendirme basamakları arasındaki ilişki [89]

### 3.7.5. H.T.E.A. parametrelerinin derecelendirilmesi

Olasılık, Şiddet ve Keşfedilebilirlik, H.T.E.A. parametreleridir. Olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik derecelendirme ölçeği Tablo 3.1.'de sunulmuştur;

Tablo 3.3.1 : Olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik derecelendirme ölçeği [90]

Parametreler \ Ölçek	Ölçek									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OLASILIK	Hatanın oluşması olası değil..... Hata oluşacak.									
ŞİDDET	Hata ciddi değil.....Hata son derece ciddi									
KEŞFEDİLEBİLİRLİK	Hata bulunacak.....Hata bulunmayacak									

### 3.7.5.1. Olasılık (O)

Hata / Neden Olasılığı

Nedenin ve onun yarattığı hatanın birlikte olma olasılığıdır. Olasılık nedenleri ve hata türleri ile ilişkilidir.

Olasılığı tahmin ederken;

- Üyelerin deneyimi
- Kalite verileri
- Deneysel verilerin kalitesi ele alınır.

H.T.E.A. yönteminde, bütün olası hata türlerinin nedenleri göz önüne alınır ve olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik esasına dayanılarak değerlendirilir.

Olasılık, hatanın oluşma sıklığını gösterir ve her bir olası hata türünün gerçekleşmesi olasılığı ile ilgilidir. Olasılık değer sayısının bir değerden çok anlamı vardır.

Oluşma olasılık değerini belirlemek için iki farklı yaklaşım vardır. Birincisi, bir hata türü veya nedeni için oluşma olasılık değerini belirlemektir. Diğerinde ise olasılık değeri hata nedeni ile onun sonucunda çıkan hata türü ilişkilendirilmesi ile bulunur [1].

Bir diğer yöntem de H.T.E.A. takımın tarafından olasılıkların tahmin edilmesidir. Bu tahminler sırasında, hatanın ve sebebin ürün müşteriye ulaşmadan çıkmamış olacağı kabul edilir. Derecelendirme 1 ile 10 arasında yapılmaktadır [4].

Oluşma ürünün faydalı ömrü boyunca belirlenen sebeplerle belirlenen hataların oluşmasının sıklığı yada kümülatif toplamıdır. Her 100 yada 1000 parça için Kümülatif Hata Sayısı (C.N.F.) güvenilirlik analizleri kullanarak hesaplanır. C.N.F.' ler belirtilen sebeple meydana gelebilecek olan tasarım hatalarının her 100 yada 1000 parçanın kaçından meydana gelebileceğini gösteren olasılıklardır.

Sebebin ve onun yarattığı hatanın beraberce meydana gelme olasılığıdır. Olasılık sebepler ve hata türleri ile ilişkilidir.

Olasılık, bir parçanın verilen bir sebep için tasarım ömrü boyunca ortaya çıkacak tahmin edilen parça hatalarının kümülatif sayısına tekabül eden derecelendirir.

Olasılık tahmin edilirken, hata türü sebeplerini keşfetmek için kullanılacak Tasarım Değerlendirme Teknikleri (Kontrol Önlemleri) göz önüne alınır. Bu teknikler hata türü sebebinin ortaya çıkma olasılığını doğrudan azaltabilir veya önleyebilir. Eğer sebebin ortaya çıkma olasılığı teknik uygulanarak azaltılabiliyorsa, Olasılık derecesini tahmin ederken azaltma göz önüne alınır.

Belirlenmiş olan birincil nedenlerden her biri için olasılık derecesi tahmin edilir. Eğer birincil nedenler için olasılık derecesi tahmin edilemezse, o zaman üretilen her 1000 parçaya karşılık C.N.F. tahmin edilir. (C.N.F. / 1000)

Olasılık derecesi aşağıdaki öncelik sırası kıstasına dayandırılarak Süreç H.T.E.A. için Tablo 3.2. de gösterilen olasılık derecelendirme tablosundan seçilmiştir.

- $C_{pk}$  (süreç yeterlilik indeksi)
- C.N.F. (Kümülatif Hata Sayısı)
- Ekibin ortak yargısı [90]

Tablo 3.2 : Olasılık derecesi seçme tablosu [90]

Eğer	Öyle ise kullan	Olasılık derecesin sütuna göre seçmek için
Süreç, İstatistiksel Süreç kontrol altında	İstatistiksel veriler (süreç yeterliliği veya gerçek dağılım)	$C_{pk}$
Süreç, benzer veya geçmişteki süreçlerin aynıysa ise	Benzer veya geçmiş süreçten istatistiksel veriler	$C_{pk}$
Benzer veya aynı parçalar ile hata geçmişi elde varsa	Geçmiş kümülatif hata verileri ve / veya kusurlu üretimin kesiri	C.N.F. / 1000 hataların kümülatif sayısı
Süreç yeni ve / veya istatistiksel veriler mevcut değil	Mühendislik yargısı	Ekibin müşterek kararı kullanılır (tutucu olunur, büyük derece seçilir)

Belirlenen her birincil neden için ortaya çıkacak hata sayısı, H.T.E.A. ekibinin ortak düşüncesini yansıtan bir derecedir. Eğer  $C_{pk}$  veya C.N.F. / 1000 tahminleri iki derecenin arasına rastlarsa, o zaman yüksek olan derece kullanılır.

$C_{pk}$  sütununun altındaki veriler için, sürecin İstatistiksel Süreç Kontrol kullanılarak kontrol edildiği ve sürecin kararlı olduğu varsayılmıştır.  $C_{pk}$  değerleri, gerçek süreç yeterlilik çalışma verilerine dayandırılır. Eğer bu veriler elde mevcut değil ise, benzer bir sürecin üretim verileri kullanılır. Süreç kararlı değil ise, onarım, yeniden işleme ve/veya hurda verileri (işletme içi göstergeler) kullanılır ve bu veriler C.N.F. / 1000 sütunuyla kıyaslanır.

Bir süreçte, bir hatanın nedenleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır;

- İşletmenin uygunsuzluğu
- Montaj hataları
- Üretim sırasındaki hasar

Son iki durumda meydana gelecek olayın olasılığı, aşağıdaki işletme verileri kullanılarak tahmin edilir. Olasılık tahmini yapılırken, hatanın, ürün müşteriye ulaşmadan ortaya çıkmamış olduğu varsayılır. Hata/neden olasılığı, üretim sürecinde bir problemin ortaya çıkma olasılığıdır. Bu durumda ortaya çıkma olasılığı, bir sürecin iç etkenidir. Bunun sonucu olarak, sık sık (örneğin makine ile üretimlerde) süreç yeterliliği ile ilişkilendirilir. Bu süreç H.T.E.A.; hataya neden olan üretim süreci uygunsuzluğunun ortaya çıkmasını önleyerek, son ürün üzerindeki hatanın etkilerini önlemeye çalışır gerçeğine uyar [90].

Olasılık değerlendirmede kullanılan tablo, Tablo 3.3.'te gösterilmektedir.

Tablo 3.3 : Süreç H.T.E.A. için olasılık derecelendirme tablosu [90]

OLASILIK	DERECE	C <sub>pk</sub>	C.N.F. / 1000	TANIM
HEMEN HEMEN OLANAKSIZ	1	> = 1.67	< 0.00058 (1500000 da 1 den küçük)	Hata olasılığı yok. Geçmişteki benzer süreçlerde hata görülüyor.
UZAK	2	> = 1.5	0.0068 (150000 de 1)	Çok uzak sayıda hatalar olası
ÇOK ÖNEMSİZ	3	> = 1.33	0.063 (15000 de 1)	Çok az sayıda hata olası
ÖNEMSİZ	4	> = 1.17	0.46 (2000 de 1)	Az sayıda hata olası
DÜŞÜK	5	> = 1.00	2.7 (400 de 1)	Seyrek sayıda hata olası
ORTA	6	> = 0.83	12.4 (80 de 1)	Biraz yüksek sayıda hata olası
BİRAZ YÜKSEK	7	> = 0.67	46 (20 de 1)	Sık sık hata olası
YÜKSEK	8	> = 0.51	134 (8 de 1)	Yüksek sayıda hata olası
ÇOK YÜKSEK	9	> = 0.33	316 (3 de 1)	Çok yüksek sayıda hata olası
HEMEN HEMEN KESİN	10	> = 0.33	> 316 3 de 1 den çok)	Hata olasılığı hemen hemen kesin. Benzer süreçlerle ilgili geçmişte pek çok hata görülüyor.

Süreç H.T.E.A.' da hata olasılık tablosu ise Tablo 3.4. te gösterilmektedir.

Tablo 3.4 : Süreç H.T.E.A. Hata / Neden olasılık tablosu [90]

OLASILIK DEĞERLENDİRİLMESİ	DERECE	REFERANS YÜZDE
<b>ÇOK UZAK OLASILIKTA</b> Arızanın olacağını kabullenmek mantıklı değil, Üretim süreci uygun, yeterlilik en az $\pm 4 G$	1	$< 1 / 10000$ ( $< 0.0001$ )
<b>DÜŞÜK OLASILIKTA</b> Benzer süreçlerde çok az kusur görüldü. Üretim süreci uygun, yeterlilik en az $\pm 3,1 G$	2 3	$< 1 / 2000$ ile $1 / 10000$ $< 1 / 1000$ ile $1 / 2000$ ( $< 0.001$ ile $0.0001$ )
<b>ORTA OLASILIKTA</b> Benzer süreçlerde seyrek arızalar görüldü, fakat çok ciddi değillerdi. Üretim süreci uygun değil, yeterlilik en az $\pm 2,33 G$	4 5 6	$< 1 / 500$ ile $1 / 1.000$ $< 1 / 200$ ile $1 / 500$ $< 1 / 100$ ile $1 / 200$ ( $< 0.01$ ile $0.001$ )
<b>YÜKSEK OLASILIKTA</b> Benzer süreçler büyük problemlere neden oldular. Üretim süreci uygun değil, yeterlilik en az $\pm 1,65 G$	7 8	$< 1 / 50$ ile $1 / 100$ $< 1 / 20$ ile $1 / 50$ ( $< 0.05$ ile $0.01$ )
<b>ÇOK YÜKSEK OLASILIKTA</b> Pek çok problemin ortaya çıkması hemen hemen mümkün.. Üretim süreci uygun değil, yeterlilik en az $\pm 1,65 G$	9 10	$< 1 / 10$ ile $1 / 20$ $1$ ile $\geq 1 / 10$ ( $\leq 0.05$ )

### 3.7.5.2. Şiddet (S)

Şiddet, olası hata türünün müşteriye olan etkisinin önem ve tehlikesinin derecelendirilmesidir. Eğer bir montaj hatunda çalışan işçi veya ürünü kullanan müşteri bir hata türü tarafından etkilenirse, hata şiddeti de değerlendirilmeye alınır.



Şiddet ile müşteriye yansıyan olası hata sonuçlarının düzeyi değerlendirilir. Hata şiddeti etkiye karşılık gelir ve aralarında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Hatanın etki düzeyi arttıkça ağırlık da artar. Hata şiddeti, hatanın müşteri üzerinde etkisinin önem derecesidir [1].

Hatanın şiddeti müşteriye etkisi yönünden 1 ile 10 arasında derecelendirilir. Şiddet derecelendirme tablosu, Tablo 3.5.'te gösterildiği gibidir. Hata şiddeti dereceleri için hatanın müşteri üzerine etkisi esas alındığından, belirli bir hatanın bütün olası sebeplerine aynı şiddet derecesi verilmelidir. Hatanın şiddetini azaltmak için, parçayı yeniden tasarlamak gereklidir. Çünkü şiddet derecesi, sadece parça/ürün tasarımında alınacak önlemlerle değiştirilebilir. Şiddet dercelendirilirken, en ciddi etkinin derecesi yazılmalıdır [91].

Müşteri yönünden şiddetin derecesi, sadece ürün tasarımı üzerinde yapılacak değişikliklere göre değişir. Üretim sırasındaki kontrollerden etkilenmez. Şiddet değeri saptanırken sadece hatanın etkisi esas alındığından, belirli bir sonuç yaratan hatanın tüm olası nedenleri de aynı şiddet değerini alır. Önerilen şiddet değerleri için üretim mühendisliği verilerine başvurulur veya tasarım ile ilgili bilgi yoksa bu değer tahmin edilir.

Üretim, sistemin tamamında etkili olduğundan, hatanın daha sonraki süreç işlemlerinde doğurduğu sonuca bağlı olarak şiddet değeri artar.

Tablo 3.5 : Sistem H.T.E.A. için şiddet derecelendirme tablosu [92]

ETKİ	ŞİDDET DERESESİ	TANIM
ETKİSİ YOK	1	Ürün veya sistem performansı üzerine hiç etkisi yok
ÇOK ÖNEMSİZ ETKİ	2	Sistemin çalışmasında kargaşaya yol açan hata. Müşteri büyük olasılıkla hatanın farkında olmayacaktır.
ÖNEMSİZ ETKİ	3	Sistemin çalışmasını yavaşlatan hata. Müşteri biraz rahatsız oluyor.
KÜÇÜK ETKİ	4	İncinme, küçük kesik ve sıyrıklar, ezilmeler vb. hafif yaralanmalar ile kısa süreli rahatsızlıklara neden olan hata
ORTA ŞİDDETTE ETKİ	5	Kırık, kalıcı küçük iş görmezlik, 2. derece yanık, beyin sarsıntısı vb. etkiye sahip hata
ÖNEMLİ ETKİ	6	Sistemin performansını etkileyen, uzuv ve organ kaybı, ağır yaralanma, kanser vb. yol açan hata
BÜYÜK ETKİ	7	Ekipmanın tamamen hasar görmesine sebep olan ve ölüme, zehirlenme, 3. derece yanık, akut ölümcül hastalık vb. etkiye sahip hata
ÇOK BÜYÜK ETKİ	8	Sistemin tamamen hasar görmesini sağlayan yıkıcı etkiye sahip ağır yaralanmalara, 3. derece yanık, akut ölüm vb. etkiye sahip hata türü
CİDDİ ETKİ	9	Yüksek hasara ve toplu ölümlere yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata
TEHLİKELİ ETKİ	10	Felakete yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata

### 3.7.5.3. Keşfedilebilirlik (K)

Keşfedilebilirlik, parça üretim veya montaj bölgesini terk etmeden önce, önerilen süreç kontrol önlemleri ile hata türünün belirlenmesidir. 1 ile 10 arasındaki derecelendirme düzeyine göre değerlendirilir. Hata oluşmuş gibi varsayıp, mevcut bütün kontrol önlemleri ile bu hata türüne sahip parçanın sevk edilmesini önleme yeteneği değerlendirilir. Hatanın ortaya çıkma olasılığının düşük olduğu varsayılarak, otomatik olarak keşfedilebilirlik sayısının da düşük olduğu düşünülmemelidir. Fakat, düşük frekanslı hata türlerini keşfetmek veya onların sürecin daha sonraki aşamalarına gitmelerini önlemek için, süreç kontrollerinin yetenekleri değerlendirilir.

H.T.E.A. için bir keşfedilebilirlik derecesi seçmek amacıyla Keşfedilebilirlik Derecelendirme Tablosu kullanılır. Aşağıda Tablo 3.6.'da gösterilen bu tablo hata türünü keşfetmeyi amaçlayan kontrolleri değerlendirir. Kontrol yöntemleriyle, hata türünün keşfedilebilmesi sağlanamıyorsa bu durumda keşfedilebilirlik derecesi olarak 10 kullanılır [90].

Belirli bir hata türü için birkaç kontrol birden listelenirse, her kontrol için keşfedilebilirlik derecesi tahmin edilir. İçlerinden en düşük derece seçilir. Eğer bütün kontroller uygulanacaksa, kontroller beraberce göz önüne alınarak karma bir keşfedilebilirlik derecesi tahmin edilir.

Olası hatanın, son müşterinin kullanımı esnasında ortaya çıkacağı varsayıldığından, öngörülen tespit önlemlerinden geçmiş olması gerekir. Bu nedenle, keşfedilebilirlik ile ilgili olasılık değeri, ortaya çıktığı varsayılan hata nedeninin yada şeklinin müşteriye ulaşabilme olasılığı olarak tanımlanır. Bazı işletmelerin bu olasılık değerini, hatanın müşteriye ulaşmama olasılığı olarak aldığı görülmektedir. Olasılık değerleri, analiz edilen birimlerin benzerlerinin geçmiş dönem verilerinden, ürün iç denetlemelerinden bulunabilir. Olasılık durumu kestirilemediği durumlarda ona bir değer verebilme için grup üyelerinin deneyimlerine başvurulur [1].

Tablo 3.6 : Süreç H.T.E.A. için keşfedilebilirlik derecelendirme tablosu [92]

KEŞFEDİLEBİLİRLİK	DERECESİ	TANIM
HEMEN HEMEN KESİN	1	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği hemen hemen kesin.
ÇOK YÜKSEK	2	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok yüksek.
YÜKSEK	3	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği yüksek.
ORTA ŞİDDETE YÜKSEK	4	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği yüksek ortalama.
ORTA	5	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği orta.
DÜŞÜK	6	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok düşük.
ÖNEMSİZ	7	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği düşük.
ÇOK ÖNEMSİZ	8	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği uzak.
PEK ZAYIF	9	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok uzak.
HEMEN HEMEN OLANAKSIZ	10	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilmesi mümkün değil

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

Filtreleme, sebeplerin ve hata türlerinin müşteriye ulaşmasını durdurur. Bu tamamen işletmede uygulanan kontrol önlemlerine bağlıdır.

Keşfedilebilirlik derecesinin geliştirilmesi için, kontrol önlemlerinin iyileştirilmesi veya artırılması gereklidir. Bazı durumlarda, keşfedilebilirlik olasılığını tasarım değişikliği de artırabilir.

Keşfedilebilirlik, önerilen Tasarım Değerlendirme Tekniğinin, bir parçanın üretim kararı verilmeden önce, parça hata türünün keşfetme olasılığının aynı derecesidir.

Önce bir hata türü sebebinin keşfetmek için kullanılacak Tasarım Değerlendirme Tekniği olup olmadığı kararlaştırılır. Öyle ise, o zaman olasılık derecesi etkilenebilir.

Daha sonra, listelenmiş hata türlerini keşfetmek için kullanılacak her bir Tasarım Değerlendirme Tekniğinin etkililiği tahmin edilir. Hata türünü keşfetmek için, her bir Tasarım Değerlendirme Tekniğinin yeteneği tahmin edilir. Hata türünün ortaya çıktığı varsayılır. Toplam etkililiğe dayanarak Keşfetme Tekniği derecelendirilir.

Belirli bir hata türü için bir kaç kontrol önlemi yazıldığında, her bir teknik için bir Keşfetme Derecesi tahmin edilir. En iyi derecelendirme seçilir.

### **3.7.6. Risk öncelik göstergesi**

Risk Öncelik Göstergesi (R.Ö.G.), kritiklik sayısı göstergesidir. R.Ö.G. her bir hata türü veya nedeni için “şiddet”, “olasılık” ve “keşfedilebilirlik” gibi üç risk faktörü esas alınarak belirlenen sayısal değerdir. Bu değer, hata nedenlerinin önemini gösterir ve düzeltici önlemlerin önceliğini tanımlar. Dereceler ve R.Ö.G.’ler kritiklik azaltmak ve süreci daha güçlü yapmak için göz önüne alınacak olası faaliyetleri belirlemek amacıyla ve süreç zayıflıklarını sınıflandırmada kullanılır. Yüksek R.Ö.G. sayıları ve şiddet dereceleri, iyileştirici önlemlerin uygulanmasında ve İstatistiksel Süreç Kontrol listesine alınmasında, öncelikle ele alınması gereken durumlardır [1].

Burada “olasılık” hataya yol açabilecek sebebin frekansı, “şiddet” hatanın etkisinin ciddiyeti ve “keşfedilebilirlik” de söz konusu sebebin ve buna bağlı olarak hatanın kullanıcıya ulaşmadan fark edilebilme imkanınıdır. Bu kısımda yapılan değerlendirmeler kalitatif veya kantitatif olabilir. Kalitatif yöndeki

değerlendirmelerde belirli istatistik hesaplamaları kullanan teorik kabuller yapılmasına karşın, kantitatif değerlendirmelerde geçmiş veriler kullanılabilir. Bu değerlendirmelerde 1'den 5 veya 10'a kadar olan derecelendirmeler kullanılır. 10'dan fazla bölümlendirmeye sahip derecelendirmelerin kullanılması tavsiye edilmez. Bu konuda hazırlanmış ve uluslararası boyutta kabul görmüş bazı hazır tablolar kullanılabilir (Tablo 3.7). Bu ve benzeri tablolar ekibe bir fikir vermesi açısından önemlidir. Ancak bu kısımda yapılan tahmin ve kabullerde de öncelik ekip üyelerinin deneyimleri, geçmiş veriler ve istatistiki hesaplamalardır [2].

Tablo 3.7 : Tasarım H.T.E.A. için değerlendirme tablosu [2]

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

R.Ö.G. değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılıksal olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında atanan değerleri alınır. R.Ö.G. ile her bir hata türü için riskler tanımlandığından en büyük R.Ö.G.' e sahip olandan başlayarak uzun dönemde ortadan kaldırılması ve kısa dönemde en aza indirilmesi için alınacak düzeltici önlemler belirlenir.

R.Ö.G. değerlerinin bulunmasında yer alan üç faktörün (şiddet, olasılık, keşfedilebilirlik) değerlerinin analizcilerin kişisel yargılarına göre belirlenmesi, risk düzeyine göre önceliklerin belirlenmesinde yeterlidir. Ancak değerlendirmelerin kişi yargıları esas alınarak yapıldığı raporda belirtilmelidir. Kişi deneyim ve yargılarına

göre değer ataması yapıldığında aynı düzeyde değerlendirme yapabilmek için tüm değer atama işlemleri belirli bir zaman dilimi içinde tamamlanmalıdır [1].

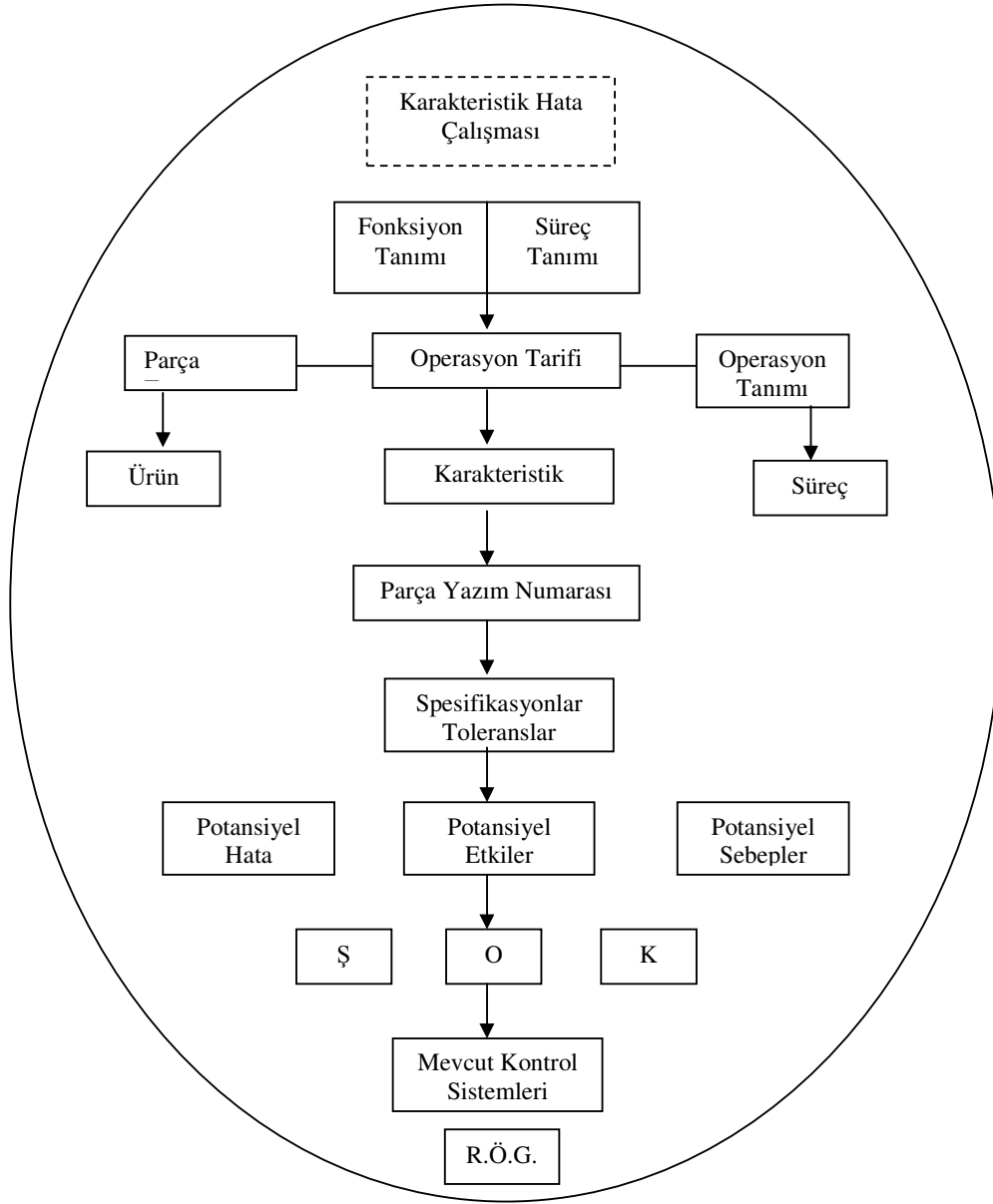
Risk Öncelik Göstergesi (R.Ö.G.), Olasılık (O), Şiddet (Ş) ve Keşfedilebilirlik (K) değerlerine iki farklı matematiksel işlem uygulanması ile hesaplanabilir;

- Çarpma işlemi ile  $R.Ö.G. = Ş \times O \times K$
- Toplama işlemi ile  $R.Ö.G. = Ş + O + K$

Ancak uygulamada yaygın olarak kullanılan yaklaşım risk faktörleri olan olasılık, şiddet ve tespit değerleri ile çarpma işlemi yardımıyla R.Ö.G. değerini hesaplamaktadır.

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

Analizi yapılan ürün veya sistemin öngörülen kalitesi hakkında genel bir fikir edinmek için R.Ö.G.'lerden yararlanır. Ayrıca gerçekleştirilecek iyileştirme çalışmalarının izlenmesi de kolaylaşır. Aşağıda şekil 3.7. de R.Ö.G.'ün hesaplama süreci gösterilmektedir [1].



Şekil 3.7 : R.Ö.G. hesaplaması [4]

İyileştirme yapma aşamasında uygun bir eşik değeri belirleyebilmek için belirli bir güven seviyesinin kabul edilmesi en uygun yöntemdir. Her üç önceliklendirme kriteri için 10'lu derecelendirme kullanıldığında toplam puanın  $10 \times 10 \times 10 = 1000$  olacağı açıktır. % 99 istatistiksel güven hedeflendiğinde  $1000 - 990 = 10$  olacaktır ve elde edilen bu sayının anlamı "R.Ö.G. puanı 10'un üzerinde olan her hata türü ele



alınmalı” demektir. Oysa istatistiksel güven seviyesi % 90 kabul edildiğinde eşik değeri 100 puana çıkacaktır.

Sonuç olarak, eşik değer kabulünün de ekibin sorumluluğunda saptanması gerektiğini söylemek en doğru yaklaşım olacaktır. Burada ekip istatistiksel güven seviyesinin yanı sıra firmanın ve ürünün pazardaki imajı ve konumu, ürünün kullanım yerinin kritikliği ve problemlerin giderilebilme kolaylığını veya zorluğunu ürünün fiyat ve rekabet seviyesini de dikkate alarak en uygun eşik değeri belirler. Aslında bu noktaya kadar özellikle puanlama ile ilgili olarak yapılan bir çok kabul H.T.E.A. yönteminin zayıf yönlerinden biridir. Bu noktalarda geçmiş deneyimler ve ekibin konuya yaklaşımı büyük önem taşır ve yapılanlar kısmen subjektif değerlendirmelerdir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında önceliklendirme kısmının daha matematik tabanlı bir karar verme yöntemi ile desteklenmesi düşünülmüştür [2].

Küçük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılan risk esas alındığında R.Ö.G.’ lerin bir niteliksel değerlendirmesi şu şekilde yapılabilir.

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

R.Ö.G.’ ün büyüklüğü ile bağlantılı olarak, iyileştirme faaliyetlerine gereksinme vardır. Düzeltici faaliyetlerin başlatılması kararı değişik şirketlerde farklı değerlendirmelere göre yapılır. Örnek olarak bazı özel değerlendirmeler verilmiştir [4].

- Şiddet derecesi ve R.Ö.G. sayılarının karşılaştırılmasına göre [90];

Şiddet derecesi 9 / 10 (kritik)      R.Ö.G. > = 40

Şiddet derecesi 7 / 8                      R.Ö.G. > = 100

Şiddet derecesi 4 / 5 / 6	R.Ö.G. $\geq$ 120
Şiddet derecesi 1 / 2 / 3	R.Ö.G. $\geq$ 150

- R.Ö.G. değerlerine göre düzeltici önlem alma kararları ise[4];

R.Ö.G.  $<$  40 ise önlem almaya gerek yoktur,  
40  $<$  R.Ö.G.  $<$  100 önlem alınmasında fayda vardır,  
R.Ö.G.  $>$  100 ise mutlaka önlem alınması gerekir.

Aynı R.Ö.G. değerine sahip iki veya daha fazla hata varsa, öncelikle ağırlığı ve sonrada tespit değeri yüksek olan hata ele alınmalıdır. Ağırlığı yüksek olan hatalar önceliklidir çünkü bu değer hatanın etkisini göstermektedir. Keşfedilebilirlik oluşma değerinden daha önemlidir. Burada söz konusu olan, hatanın müşteriye ulaşmasıdır. Müşteriye ulaşan hatalara, sık oluşan hatalardan daha önce yaklaşılmalıdır.

Unutulmaması gerekir ki, derecelendirmelerin ve R.Ö.G. sayılarının kendi başlarına bir önemi yoktur. Derecelendirmeler ve R.Ö.G. sayıları sadece, tasarımı daha güçlü yapmak ve/veya kritikliği azaltmak amacıyla olası tasarım hatalarını büyükten küçüğe doğru sıralamada kullanılmalıdır.

### **3.7.7. İyileştirme önerileri**

Hata türleri sebepleri en büyük R.Ö.G.' den başlayarak, büyükten küçüğe doğru sıralandıktan sonra, iyileştirme faaliyeti kritik maddeler de göz önünde bulundurularak, en yüksek değerde olan hususlara yönlendirilmelidir.

Önerilen iyileştirme faaliyetleri kısaca tanımlanmalıdır. Her bir önlem açıkça belirlenmeli ve saptanmalıdır.

Düzeltilici faaliyetlerden her birinin amacı, olasılık, şiddet ve/veya keşfedilebilirlik derecelerinden birini veya tamamını azaltmaktır.

Kontrol önlemleri faaliyetlerin arttırılması, sadece keşfedilebilirlik sayısının azaltılması ile sonuçlanacaktır. Tasarım değişikliğiyle, hata sebeplerinden biri veya birkaçı kontrol edilerek veya ortadan kaldırılarak, sadece olasılık sayısı etkilendirilebilir ve bir azalma sağlanabilir. Şiddet sayısında azalma ise sadece tasarım değişikliği ile sağlanır. Aşağıdaki faaliyetlerin gerçekleştirilmesi düşünülebilir.

- Deney tasarımı (özellikle çoklu veya birbirine etkili olan sebepler var olduğunda)
- Değiştirilmiş Test Planı
- Değiştirilmiş Tasarım
- Değiştirilmiş Malzeme Şartnamesi

Düzeltilici önlemler müspet olmalı ve o duruma özgü olarak belirlenmelidir. Eğer önerilen iyileştirmeler, yüksek bir maliyet ve uzun bir gerçekleşme süresini gerektiriyorsa, birkaç alternatif çözüm önerilmeli ve böylece karar vericiye en uygun çözümü seçme olanağı sağlanmalıdır.

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

Düzeltilici faaliyet uygulanacak sebepler için ya faaliyetler tamamen uygulanıp sonuçları alındıktan sonra, ya da her faaliyetin sorumlusundan ileriye dönük olarak alınan öngörüler çerçevesinde R.Ö.G. puanları yeniden hesaplanır ve ikinci hesaplama sonrasında bulunan puanların en başta kabul edilen eşik değerden aşağıda olması beklenir.

Görüldüğü gibi H.T.E.A. yöntemi, sistem, ürün, süreç ve servis/bakım faaliyetlerinin tasarımında hataların / problemlerin kullanıcılara ulaşmadan tanımlanması ve ortadan kaldırılması için geliştirilmiş, uygulanması oldukça kolay ve etkin bir yöntemdir [93].

### **3.7.8. Sonuçların değerlendirilmesi**

Analiz ve değerlendirme sonuçları belirlendikten sonra bilgiler H.T.E.A. formuna aktarılır.

### **3.7.9. Düzeltici önlemler**

Düzeltici önlemler, olası hata şekillerinin veya nedenlerinin ortadan kaldırılması veya olumsuz etkilerinin minimize edilmesi için tasarım, üretim süreci, malzeme veya üretim yönetimi gibi çeşitli unsurlarda yapılacak değişikliklerdir. Düzeltici önlemler ile R.Ö.G. değerleri aşağıya çekilmeye çalışılır. R.Ö.G. değerlerinin küçültülmesi ağırlık, tespit, oluşma gibi risk faktörlerine atanan değerlerin küçültülmesi ile gerçekleşir.

### **3.7.10. İzleme**

H.T.E.A. tekniğinin bu adımı, öngörülen düzeltici önlemlerin yeterli etkinlikte uygulamaya alınıp alınmadıklarının doğrulanması ve yeni sonuçların incelenmesi ve değerlendirilmesi aşamasıdır. Düzeltici önlemlerin devreye alınması açısından büyük önem taşır. Bu aşamada kritik R.Ö.G. değerleri ortadan kaldırılncaya kadar çözümler incelenir ve değerlendirilir.

### **3.7.11. Doğrulama**

Her şey yolunda gidiyor diyebilmek için gerçekleştirilmesi gereken analizin en son aşamasıdır. Doğrulama ile hedeflenen düzeltici önlemlerin uygulandığını doğrulamak ve yeni oluşan hataları belirlemektir. Doğrulamada amaç ürünün üretimine geçilmeden önce düzeltici önlemlerin uygulanmasının ve sistemin zaman içinde değişime uğramadığının doğrulanmasıdır. Ayrıca uygulamaya alınan

önlemlerin öngörülen önlemler ile uyum gösterip göstermediklerinin doğrulaması da yapılabilir [4].

### **3.8. H.T.E.A. Yönteminin İyileştirmeye Açık Yönleri**

H.T.E.A. yöntemi her ne kadar ürün, süreç, sistem ve servis konularındaki olası hata risklerini önceden belirleyebilmek için kullanılan çok etkin bir yöntem olsa da söz konusu yöntemin de iyileştirmeye açık bazı yönleri mevcuttur. Bunlar değişik literatürde birbirinden farklı olarak dile getirilmekte olup aşağıdaki başlıklar halinde sıralanabilir [2].

- Üç kriter çerçevesinde yapılan puanlamalar kısmen subjektiftir. Şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik kriterlerindeki puanlama kuralları uygulama yapan bir kuruluştan bir diğerine göre değiştiğinden, H.T.E.A. yöntemindeki risk öncelik göstergesi hesaplama yönteminin doğal bir subjektiflik taşıdığı konusunda hem fikir olunmuştur.
- Çalışmanın başlangıcında yaşanan uzlaşım zorlukları grubu moral olarak etkilemekte, takibende maddelerin tartışılmasında uzlaşım daha da zorlaşmakta, çalışmanın bütünü bir kısır döngüye girebilmektedir.
- Yaklaşım üstü kapalı olsa da, önleyici olmaktan çok problem nedenlerinin sıralanmasına ve önceliklendirilmesine odaklıdır.
- Tespit edilen öncelikli sebeplerin çözüm maliyetleri, sebeplerin çözüm maliyetlerinden bağımsızdır. Bazı durumlarda çözüm maliyeti sebep maliyetinin üzerine çıkabilmekte ancak önceliklerin tespitine bu durumun etkisi yansıtılmamaktadır. Hata türünün oluşturacağı maliyet, çözüm için alınacak önlemlerin belirginleştirilmesini de sağlar.
- Bazı uygulamalarda çözümler, öncelik belirleme grubundan bağımsız başka gruplara havale edilmekte, bu durum çalışmanın bütünlüğünü bozarak etkinliğini azaltmaktadır.

- Çalışmanın müşterisinin firma üst yönetimi veya müşteri gibi çalışma grubundan bağımsız olduğu durumlarda, öncelik belirleme ve çözüm önerilerinin farklı çalışmalar ve gruplarla ele alındığı projelerde bütünlük bozulmakta, proje ve potansiyel problemlerin yönetilebilirliği zorlaşmaktadır. [2].
- Klasik H.T.E.A. yönteminde, şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri kombinasyonları tek bir R.Ö.G. değeri sağlar, bununla beraber, durum tamamen farklı olabilir. Örneğin, şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri sırasıyla 2, 3, 2 ve 4, 1, 3 olan iki farklı hata türü olduğunda her iki durumun R.Ö.G. değeri de birbirine eşit olduğu görülmektedir ( $R.Ö.G._1 = 2 \times 3 \times 2 = 12$  ve  $R.Ö.G._2 = 4 \times 1 \times 3 = 12$ ). Ancak her iki olayın risk anlamları aynı olmamaktadır. Bu durum, zaman veya kaynak israfına veya bazı hallerde önemsenmeyen yüksek – riske neden olabilmektedir.
- R.Ö.G. sıralama metodunda, şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik risk faktörlerinin aynı öneme sahip olduğu varsayılmaktadır. [60]
- H.T.E.A. yöntemi diğer risk analizi teknikleri gibi, girdi olarak sayısal verilere (olasılık, şiddet, keşfedilebilirlik) ihtiyaç duyar. Ancak pek çok durumda hazır veri mevcut değildir veya mevcut veriler yeterli ve güvenilir değildir. Bu durumda, çoğu kez sayısal veriler uzman yargısına başvurularak tahmin edilmektedir. Onlu skalada puanlamada katılımcıların konu ile ilgili bilgi seviyesi ve deneyimleri nedeniyle ciddi sapmalar olmakta, uzlaşım güçlüğü yaşanabilmektedir [94].
- R.Ö.G.' ü oluşturan bazı şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik risk faktörleri diğer kombinasyonlardan daha düşük olmasına rağmen daha tehlikeli olabilmektedir. Örneğin, iki hata türünü oluşturan; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik risk faktörleri sırasıyla 10, 2, 1 ( $R.Ö.G. = 20$ ) ve 4, 6, 5 ( $R.Ö.G. = 120$ ) olduğu takdirde hangi hata türü öncelikli olarak iyileştirilmelidir [7] ?
- R.Ö.G. ile ilgili bir diğer açmaz da, R.Ö.G. = 64 değerini verecek 10 farklı kombinasyon mümkündür. Ancak, R.Ö.G.' ü; 11, 22, 33,....., 990 olarak elde

edecek her hangi bir şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik kombinasyonu bulunmamaktadır. Özetle, klasik H.T.E.A. yönteminde, R.Ö.G. =  $10 \times 10 \times 10 = 1000$  sayısının en fazla 120 tanesi elde edilebilmektedir [73].

#### 4. YAPAY SİNİR AĞLARI

1940' lı yıllarda biyolojik sinir hücrelerinin yapısından esinlenerek tasarlanan yapay sinir hücre modeli, VE, VEYA veya DEĞİL gibi mantık işlemlerinin sayısal olarak modellenebileceğini göstermiştir. Yapay sinir ağları (Y.S.A.) üzerinde ilk çalışmanın 1943 yılında başladığı kabul edilir. McCulloch ve Pitts, 1943 yılında ilk olarak yapay sinir tanımını yaparak hücre modelini geliştirmişlerdir [95,96].

Y.S.A., sahip olduğu özelliklerden dolayı alışlagelmiş bilgi işleme yöntemlerinden farklılıklar göstermektedir. Hatta sahip olduğu bazı özellikler bakımından bir çok yönteme göre daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu özelliklerden bazıları paralellik, hata toleransı, öğrenebilirlik ve gerçekleştirme kolaylığı olarak tanımlanabilir [95].

Genel anlamda Y.S.A., beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Y.S.A., yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle yada bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak Y.S.A., bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için Y.S.A. ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını içerir.

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri her hangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zor veya mümkün değildir. O nedenle, yapay sinir ağlarının,



programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş, adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir [97].

Yapay sinir ağları;

Sınıflandırma: Müşteri/Pazar profilleri, tıbbi teşhis, imza tetkikleri, borçlanma/risk değerlendirmeleri, ses tanıma, şekil tanıma, spektrum tanımlaması, mal değeri, hücre tiplerinin sınıflandırılması, mikroplar, modeller, örnekler.

Tahmin: İleriki satışlar, üretim ihtiyacı, pazar performansı, ekonomik deliller, enerji ihtiyacı, tıbbi sonuçlar, kimyasal reaksiyon ürünleri, hava tahminleri, at yarışları, çevresel risk, jüri panelleri

Modelleme: İşlem kontrolü, kimyasal yapılar, dinamik sistemler, işaret karşılaştırma, plastik kalıpcılık, kaynak kontrolü, robot kontrolü ve diğer bir çok uygulamalar [98].

gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadırlar. Örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur ve daha sonra benzer konularda benzer kararları verirler.

İlk çalışmaların yapıldığı yıllardan, 1990' lı yıllara kadar yapılan yapay sinir ağları çalışmaları kronolojik olarak aşağıdaki gibi listelenmiştir:

1890 – İnsan beyninin yapısı ve fonksiyonları ile ilgili ilk yayının yazılması

1911 – İnsan beyninin bileşenlerinin belirli bir düzen ile sinir hücrelerinden (nöronlar) oluştuğu fikrinin benimsenmesi

1943 – Yapay sinir hücrelerine dayalı hesaplama teorisinin ortaya atılması ve eşik değerli mantıksal devrelerin geliştirilmesi

1949 – Biyolojik olarak mümkün olabilen öğrenme prosedürünün bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilecek biçimde geliştirilmesi

1956 – 1962 – ADALINE ve Widrow öğrenme algoritmasının geliştirilmesi

1957 – 1962 – Tek katmanlı algılayıcının geliştirilmesi

1965 – İlk makine öğrenmesi kitabının yayınlanması

1967 – 1969 – Bazı gelişmiş öğrenme algoritmalarının (Grosberg öğrenme algoritması gibi) geliştirilmesi

1969 – Tek katmanlı algılayıcıların problemleri çözme yeteneklerinin olmadığı gösterilmesi

1969 – DARPA’ nın yapay sinir ağlarını desteklemeyi durdurup diğer yapay zeka çalışmalarına destek vermesi

1969 – 1972 – Doğrusal ilişkilendiricilerin geliştirilmesi

1972 – Korelasyon matris belleğinin geliştirilmesi

1974 – Geriye yayılım modelinin (çok katmanlı algılayıcıların ilk çalışmalarının) geliştirilmesi

1978 – 1982 – Öğretmensiz öğrenmenin geliştirilmesi

1978 – A.R.T. modelinin geliştirilmesi

1982 – Kohonen öğrenmesi ve S.O.M. modellemenin geliştirilmesi

1982 – Hopfield ağlarının geliştirilmesi

1982 – Çok katmanlı algılayıcının geliştirilmesi

1984 – Boltzman makinesinin geliştirilmesi

1985 – Çok katmanlı algılayıcıların (genelleştirilmiş Delta öğrenme kuralı ile)

1988 – R.B.F. modelinin geliştirilmesi

1988 – P.N.N. modelinin geliştirilmesi

1991 – G.R.N.N. modelinin geliştirilmesi

1991 – Bulanık A.R.T. modelinin geliştirilmesi

1991 yılından sonra geliştirilen modeller değişik alanlarda uygulanmış ve bu modeller için yazılımlar geliştirilmiştir.

#### **4.1. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri**

Y.S.A.’ nın hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de Y.S.A.’ nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, Y.S.A.’ nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok bilim alanında Y.S.A., aşağıda belirtilen özellikleri nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur.

Doğrusal Olmama: Y.S.A.'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen Y.S.A.'da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile Y.S.A., doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

Öğrenme: Y.S.A., istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemde aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir.

Genelleme: Y.S.A., ilgilendiği problemi öğrendikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir.

Uyarlanabilirlik: Y.S.A., ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani, belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen Y.S.A., problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir.

Hata Toleransı: Eğitilmiş bir Y.S.A.'nın bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

Donanım ve Hız: Y.S.A., paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (V.L.S.I.) teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. Bu özellik, Y.S.A.'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir.

Analiz ve Tasarım Kolaylığı: Y.S.A.'nın farklı uygulama alanlarındaki yapıları standart yapıdaki hücrelerden oluşmaktadır. Bu nedenle, farklı uygulama alanlarında kullanılan Y.S.A.'ları benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bu özellik, problemlerin Y.S.A. ile çözümünde önemli bir kolaylık getirecektir.

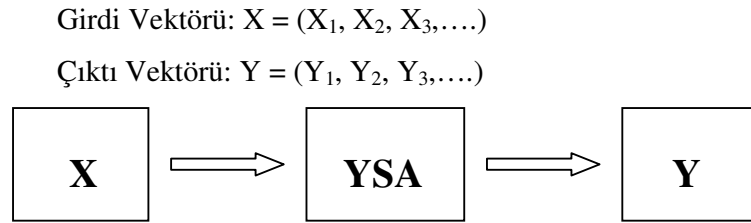
## 4.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir ağlarında genel olarak hücreler 3 katman halinde bir araya gelerek ağ oluştururlar. Bu katmanlar:

- Girdi katmanı: Bu katmanlardaki süreç elemanları bilgileri ara katmanlara transfer etmekle sorumludurlar.
- Ara katmanlar: Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanda gerçekleştirilir. Bir ağ için birden fazla ara katman olabilir.
- Çıktı katmanı: Bu katmandaki süreç elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler.

## 4.3. Yapay Sinir Ağlarının Çalışması

Şekil 4.1. de gösterildiği gibi yapay sinir ağlarının çalışma prensibi, bir girdi setini alarak onları çıktı setine çevirmek olarak açıklanabilir. Bunun için ağın kendisine gösterilen girdiler için eğitilmesi gerekmektedir. Ağa gösterilecek örnekler öncelikle bir vektör haline getirilir. Bu vektör ağa gösterilir ve ağ bu vektör için gerekli çıktı vektörünü üretir. Ağın parametre değerleri doğru çıktıyı üretecek şekilde düzenlenir. Girdi ve çıktı vektörlerinin tasarımı ağı geliştiren kişi tarafından belirlenir ve örnekler belirlenen formatta toplanarak eğitim esnasında ağa gösterilirler.



Şekil 4.1 : Yapay sinir ağı girdi, çıktı ilişkisi

Yapay sinir ağlarında süreç elemanlarının bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine ağırlık eğitimi denir. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rast gele olarak atanır. Yapay sinir ağları kendilerine örnekler gösterildikçe bu ağırlık değerlerini değiştirirler. Amaç ağa gösterilen örnekler için doğru çıktılar üretecek ağırlık değerlerini bulmaktır. Ağırlık doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine ağırlık öğrenmesi denir. Ağırlıkların değerlerinin değişmesi belirli kurallara göre yürütülmektedir. Bu kurallara öğrenme kuralları denir.

Ağırlık eğitimi tamamlandıktan sonra öğrenip öğrenmediğini ölçmek için yapılan denemelere ise ağırlık testi denmektedir. Test etmek için ağırlık öğrenme sırasında görmediği örnekler kullanılır. Test etme sırasında ağırlık değerleri değiştirilmez. Test örnekleri ağa gösterilir. Ağırlık eğitimi sırasında belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak görmediği bu örnekler için çıktılar üretir. Elde edilen çıktılar doğruluk değerleri ağırlık öğrenmesi hakkında bilgiler verir. Sonuçlar ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir. Eğitimde kullanılan örnek setine eğitim seti, test için kullanılan sete ise test seti adı verilmektedir. Yapay sinir ağlarının bu şekilde bilinen örneklerden belirli bilgileri çıkartarak bilinmeyen örnekler hakkında yorumlar yapabilme yeteneğine adaptif öğrenme denir.

#### **4.4. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları, Avantajları ve Dezavantajları**

Son yıllarda Y.S.A., özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan yada ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Y.S.A. çok farklı alanlara uygulanabildiğinden bütün uygulama alanları genel bir sınıflandırma ile aşağıdaki gibi toplanabilir.

**Arıza Analizi ve Tespiti:** Bir sistemin, cihazın yada elemanın düzenli (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir Y.S.A. yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlanma olanağı vardır.

Tıp Alanında: E.E.G. ve E.C.G. gibi tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu v.s gibi uygulama yeri bulmuştur.

Savunma Sanayi: Silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesnelere/görüntüleri ayırma ve tanıma, yeni algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme v.s gibi alanlara uygulanmıştır.

Haberleşme: Görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi v.s gibi alanlarda uygulama örnekleri vardır.

Üretim: Üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin (entegre, kağıt, kaynak v.s.) kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi v.s. alanlarına uygulanmıştır.

Otomasyon ve Kontrol: Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma/gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü v.s. gibi yaygın bir uygulama yeri bulmuştur [97].

Matematiksel modele ihtiyaç duymamaları, kural tabanı kullanımı gerektirmemeleri, öğrenme kabiliyetlerinin olması ve farklı öğrenme algoritmalarıyla öğrenmeleri yapay sinir ağlarının üstünlükleri arasında sayılmaktadırlar [98].

Yapay sinir ağlarındaki en büyük problem karmaşık sorunları çözmek için ya çok büyük, ya da çok katmanlı ve çok nöron içeren sinir ağlarına ihtiyaç olmasıdır. Ne yazık ki yapay sinir ağları büyüdükçe çalışmaları üstel bir şekilde yavaşlamaktadır. Ancak bunu paralel işleme teknolojisi ile kısmen de olsa halletmek mümkündür. Paralel işleme konusundaki çalışmalar oldukça ilerlemiş ve hala da ilerlemektedir.

Yapay sinir ağlarının bağlantı, katman ve düğüm sayılarının çokluğu, temsil edebilecekleri sistemin karmaşıklığını belirler. Ne kadar çok düğüm varsa o kadar karmaşık (gelişmiş) sistemler modellenebilir. Bu özellikleri ile yapay sinir ağları

klasik algoritmik yöntemlerle çözülemeyen problemleri insan beyninin çalışma sistemine benzer yöntemlerle çözmektedirler. Ancak bir yapay sinir ağının kesinlikle (%100) doğru çalışacağı hiçbir zaman söylenemez. Çünkü o da insan beyni gibi her zaman için hata yapabilir. Yapay sinir ağları günümüzde özellikle yapay zeka alanı içerisinde örneğin insan sesi tanıma, görüntü ve örüntü tanıma, sınıflandırma gibi uygulama alanlarına sahiptirler.

YSA modelinin analitik yöntemle göre daha hassas sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Literatürde, çok çeşitli sayıda yapay sinir ağı modeli rapor edilmektedir. Bunların her birinin diğerine göre farklı problemlerde avantaj veya dezavantajları mevcuttur [97].

#### **4.5. Yapay Sinir Ağı Yapıları**

Yapay sinir ağları davranışlarını çevrelerine tepki vererek (örneğin, öğrenme yoluyla) adapte ederler. Bu amaç için hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli Y.S.A. algoritmaları geliştirilmiştir. Bunlar [99]:

##### **4.5.1. İleri beslemeli yapay sinir ağları (İ.B.Y.S.A.)**

İleri beslemeli Y.S.A.'nda, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. Widrow – Hoff ve delta öğrenme kuralı bu tür bir mimariye sahiptir.

##### **4.5.2. Geri beslemeli yapay sinir ağları (G.B.Y.S.A.)**

Bu ağlar, 1970' li yılların başında geliştirilmiş, en popüler, en etkili ve karmaşık tamamlanamamış problemlere doğrusal olmayan çözümler getirebilen bir ağ çeşididir. Geri beslemeli ağlarda isminden de anlaşılacağı gibi bir tür geri besleme işlemi vardır. Geri beslemeli Y.S.A.'da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da

diğer hücrelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Hopfield ağı bu tür mimariye sahip bir yapay sinir ağıdır [97,98].

Bu yapısı ile geri beslemeli Y.S.A., doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Özellikle bozucu ve ölçülemeyen girişleri olan dinamik sistemleri modellemek amacıyla kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

#### **4.5.3. Bellek hücreli yapay sinir ağı yapıları (B.H.Y.S.A.)**

B.H.Y.S.A.'nın doğrusal olmayan bir sistemi modelleme ve denetim yeteneği, sadece sistemin o an ki giriş ve bir önceki çıkış verileri model girişi alınarak incelenmiş ve tatmin edici sonuçlar alındığı gösterilmiştir.

#### **4.5.4. Radyal tabanlı fonksiyon ağları ( R.T.F.A.)**

Radyal tabanlı fonksiyon ağı tasarımı ise çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımıdır ve bu nedenle R.T.F.A.'nın eğitimi, çok boyutlu uzayda eğitim verilerine en uygun yüzeyi bulma problemine dönüşür. R.T.F.A.'nın genellemesi ise test verilerini interpolate etmek amacıyla, eğitim sırasında bulunan çok boyutlu yüzeyin kullanılmasına eşdeğerdir. Radyal tabanlı fonksiyonlar, sayısal analizde çok değişkenli interpolasyon problemlerinin çözümünde kullanılmıştır.

#### **4.5.5. Fonksiyonel link ağları (F.L.A.)**

Katmanlı Y.S.A., orta katmandaki doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları nedeniyle doğrusal olmayan öğrenme algoritmaları ile eğitilmelidir. Bu durum, öğrenme hızını yavaşlatır ve fonksiyon yaklaşımında yöresel en aza ulaşılabilir. Bu sorunlar, ağ girişlerini önce doğrusal olmayan bir dönüşümle genişlettikten sonra doğrusal çıkış katmanlı ağ yapıları ile giderilebilir.



#### 4.5.6. Çağrışimli bellek ağları (Ç.B.A.)

Çağrışimli bellek ağları, eğitim sürecinde ağa verilen eğitim örneklerini ağırlıkları aracılığı ile saklar yada ezberler ve hatırlama yada genelleme sürecinde ise saklanmış örneklerin gürültülü versiyonları da ağa verilmiş olsa doğru örnekleri verebilir. Ç.B.A.' ları genellikle örüntü tanıma ve eldeki eksik verilerden doğru verileri ortaya çıkarma gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Ç.B.A.' ları, sistem modelleme ve denetimi amacıyla da kullanılabilir.

#### 4.5.7. Modül yapay sinir ağları (M.Y.S.A.)

Modül Y.S.A.' ları, çok sayıda Y.S.A. yapısının birleşiminden oluşur aşağıdaki gibi tanımlanır. Modül Y.S.A., böl ve yönet esasına göre çalışır. Böylece karmaşık problemler daha basit alt bileşenlerine ayrılarak çözülebilir ve sonuçta çözümler birleştirilebilir [97].

Yukarıda bahsedilen yapay sinir ağları yapıları ve onların başarılı olduğu alanlar Tablo 4.1. de özet halinde gösterilmektedir:

Tablo 4.1 : Ağların başarılı oldukları alanlar [97]

Kullanım Amacı	Ağ Türü	Ağın Kullanımı
Tahmin	Ç.K.A.	Ağın girdilerinde bir çıktı değerinin tahmin edilmesi
Sınıflandırma	L.V.Q. A.R.T. Counterpropagation Olasılık sinir ağları	Girdilerin hangi sınıfa ait olduklarının belirlenmesi
Veri ilişkilendirme	Hopfield Ağı Boltzman makinesi Çift yönlü birleşik hafıza (B.A.M.)	Girdilerin içindeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması

#### 4.6. Yapay Sinir Ağlarının Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması

Bütün yapay sinir ağları; sinirler, bağlantılar ve aktarım işlevlerine bağlı olduğu için, farklı mimariler, yapılar yada sinir ağları arasında bir benzerlik bulunmaktadır. Çeşitliliğin çoğunluğu farklı öğrenme kurallarından ve bu kuralların bir ağın yapısını

nasıl değiştirdiğinden kaynaklanmaktadır. Bu öğrenme kuralları aşağıda açıklanmaktadır.

#### **4.6.1. Danışmanlı öğrenme**

Bu tip öğrenmede, yapay sinir ağlarında gerçek çıkış, istenen çıkışla karşılaştırılır. Yani eğitici, sistem çıkışlarının istenen değerlerini temin etmektedir [98,100].

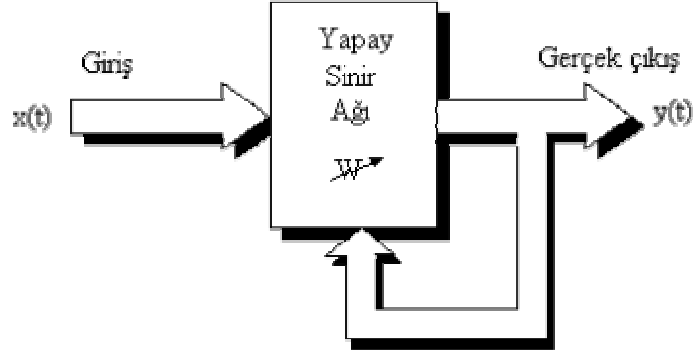
Yapay sinir ağı kullanılmadan önce, ağda eğitilmektedir. Öğrenim aşaması tamamlandıktan sonra ağ kullanılmaya başlandığında, bulunan ağırlık değerleri sabit olarak alınır ve bir daha değiştirilmezler [98].

Widrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ve Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri besleme algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir [97].

#### **4.6.2. Danışmansız öğrenme**

Girişe verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Danışmansız öğrenme algoritmasının yapısı aşağıda Şekil 4.2. de gösterilmektedir. Bu öğrenme algoritmalarında, istenilen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur. Öğrenme süresince sadece giriş bilgileri verilir. Ağ daha sonra bağlantı ağırlıklarını aynı özellikleri gösteren desenler oluşturmak üzere ayarlar. Bu tip algoritmalar daha çok, sistemin geçmişte karşı karşıya kaldığı veri kümesinin içerdigi istatistiksel bilgilerin çıkarsanmasını amaçlar. Böylelikle çok elemanlı veri kümeleri içerisinde deneyim yoluyla bilgi genelleştirmesi yapılabilir.

Hopfield ağları, Olasılıksal sinir ağları, Hamming Ağı, İki yönlü çağrışımlı bellek ağları, Grossberg tarafından geliştirilen Adaptif Rezonans Teorisi (A.R.T.) ağları (Bölüm 5 te ayrıntılı olarak açıklanmaktadır) veya Kohonen tarafından geliştirilen kendi kendini organize eden model (S.O.M.) öğrenme kuralı danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir.



Şekil 4.2 : Danışmansız öğrenme yapısı [97]

#### 4.6.3. Takviyeli öğrenme

Bu öğrenme kuralı danışmanlı öğrenmeye yakın bir metottur. Denetimsiz öğrenme algoritması, istenilen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Hedef çıktıyı vermek için bir “öğretmen” yerine, burada Y.S.A.’ ya bir çıkış verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık iyiliğini değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. Vektör kuantizasyon modelleri (L.V.Q.), optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski’nin geliştirdiği Boltzmann kuralı takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilirler [97,98,100].

## 5. ADAPTİF REZONANS TEORİSİ AĞI

Stephen Grossberg tarafından 1976 yılında geliştirilen Adaptif Rezonans Teorisi (A.R.T.) ağları danışmansız öğrenme algoritmalarıdır. Bu ağlar, yapay zeka sistemlerinin nasıl tasarlandığının çok iyi bir örneğidir ve beynin birbirinden nasıl yararlandığını anlamaktadır [101]. Ağ, gelen verileri kümelerde sınıflandırmaktadır. İlk örnek ağa sunulduğunda, örnek model olarak saklanmaktadır. İkinci örnek daha sonra örnek model ile karşılaştırılmakta ve eğer benzerlik varsa aynı kümede, benzerlik yoksa yeni bir kümede saklanmaktadır [102, 103].

A.R.T. ve diğer kümelendirme yöntemleri arasındaki en büyük farklılık ağı; uygunluk parametresi olarak adlandırılan kullanıcı tanımlı bir sabit vasıtasıyla, aynı kümenin üyeleri arasındaki benzerlik derecesinin kontrolüne izin vermesidir. A.R.T. ağlarının ilk versiyonu Carpenter ve Grossberg tarafından 1988 yılında geliştirilen A.R.T. 1 ağıdır. Sonradan, bu algoritmaya bir çok iyileştirme uygulanarak farklı ağ türleri geliştirilmiştir [104].

Bu ağlarda öğrenme, doğru bilgilerin bellenerak hafızaya alınması anlamına gelmektedir. Öğrenme sırasında kullanılan örneklerden öğrenilen bilgilere dayanarak, görülmemiş örnekler hakkında yorumlar yapılabilmektedir. Bilgilerin hafızada saklanması ve hafızada tutulması iki şekilde olmaktadır:

1. Kısa dönemli hafıza (K.D.H.)
2. Uzun dönemli hafıza (U.D.H.) [97]

A.R.T., standart ileri besleme ağlarında görülen öğrenmedeki istikrarsızlık problemini çözmek amacıyla geliştirilmiştir. Geçmişteki bilgilerle elde edilen ağırlıklar yeni bilgiler geldikçe değişmektedir. Bu nedenle, zamanla eski bilgiyi kaybetme tehlikesi meydana gelmektedir. Ağırlıklar yeni bilgiyi barındıracak kadar esnek ama eski bilgiyi kaybetmeyecek kadar eski olmalıdır.

Bu sabitlik-esneklik ikilemi olarak adlandırılır ve yapay sinir ağı paradigmasının gelişmesinde ana etkenlerden biridir. A.R.T. bu problemi, yukarıdan aşağı (çıktı-girdi) öğrenmeyle aşağıdan yukarı (girdi-çıktı) rekabetçi öğrenme kombinasyonunu ortaya koyarak çözümlenmektedir. A.R.T., bilgiyi önceden öğrenilen örneklerle sabit ve adaptif (esnek) olarak korumaktadır [105].

Adaptif rezonans teorisi öğretmensiz olarak kategorilerin giriş vektörlerini gruplara ayırmak için tasarlanan sinirsel bir ağ yapısını tanımlar. Gail Carpenter ve Stephen Grossberg tarafından 1970'lerin sonlarında geliştirilen bu yapı zaman içinde çok değişim geçirmiştir [103, 106].

### **5.1. Adaptif Rezonans Teorisi Modelinin Temel Özellikleri**

Grossberg, çalışmaları neticesinde beynin çalışmasını açıklayacak bir model önermiştir. Modelin 3 temel özelliği vardır. Bunlar:

1. Normalizasyon: Bu, özellikle biyolojik sistemlerin çevredeki büyük değişikliklere karşı adaptif oldukları durumu göstermektedir.
2. Ayırıştırabilme: İnsanın karar verebilmesi ve olayları yorumlayabilmesinde çevredeki olaylar arasında var olmasına karşın görülmesi zor farklılıkları ayırştırmak çok önemlidir. Bazen küçük ayrıntılar hayati öneme sahip olabilir.
3. Ayrıntıların saklandığı kısa dönemli hafıza. Giriş örneği kodlanmadan önce, kısa dönemli hafızada saklanması gerekmektedir. Uzun dönemli hafıza (U.D.H.), harekete geçiren bir mekanizma uygular (örneğin kümelenendirme), oysa kısa dönemli hafıza (K.D.H.), uzun dönemli hafızada (U.D.H.) kademeli değişikliklere neden olması açısından kullanılmaktadır [96].

Grossberg, bu özelliklerden yola çıkarak arkadaşları ile adaptif rezonans teorisi ağı (A.R.T.) adını verdiği yapay sinir ağı setini oluşturmuştur. A.R.T. ağı daha sonra geliştirilen öğretmensiz öğrenme ağlarının geliştirilmesine de temel olmuştur.

## 5.2. Adaptif Rezonans Teorisinin Kullanım Alanları

Grossberg' in önerdiği A.R.T. ağlarının en temel özelliği sınıflandırma problemleri için geliştirilmiş olmalarıdır.

Sınıflandırma günümüzde en çok karşılaşılan problemlerin başında gelmektedir. Çevremizdeki bir çok nesneyi de bizler sınıflandırmış durumdayız. Benzer şekilde endüstriyel kuruluşlarda makineler üzerinde oluşacak olan hataları sınıflandırmakta ve her sınıfa giren hatalar için o sınıfa özel çözümler üretilmektedir. Meslekler değerlendirilirken de sınıflandırılmaktadır. Mühendislik problemlerinin çoğu da sınıflama problemi haline getirilerek çözülmektedir. Sınıflandırma hayatımızda bu kadar önemli bir yer tuttuğundan sınıflandırma yapabilen yapay sinir ağları da önemli bir yer tutmaktadır. A.R.T. ağları bu amaçla geliştirilmiş ve başarılı bir şekilde kullanılabilen bir yöntem olarak bilim dünyasında kabul görmüştür. Bir önceki bölümde anlatılan L.V.Q. ağları da sınıflandırma için kullanılmaktadır. A.R.T. ağlarının L.V.Q. ağlarından farkı ise yapılacak olan sınıflandırma ile ilgili olarak ağa herhangi bir bilginin verilmeyişidir. A.R.T. ağları bu sınıflandırmayı kendi başına yapmaktadır.

A.R.T. ağlarının bilim dünyasında bu derece önemli olmasının nedenlerinden biride, yapısal olarak insan beyninin davranışları ve sinir sistemi hakkında bilinen (veya varsayılan) bulgular üzerine kurulmuş olmalarıdır.

## 5.3. Adaptif Rezonans Teorisi Ağlarının Diğer Yapay Sinir Ağlarından Farkları

A.R.T. ağlarının diğer yapay sinir ağlarından farklılıklarının iyi anlaşılması bu ağlardan daha iyi faydalanabilmek için önemlidir. Bilinen diğer ağlardan özellikle en yaygın olarak kullanılan çok katmanlı algılayıcılardan temel farklılıkların bazılarını, Grossberg şu şekilde özetlemektedir:

- A.R.T. ağları gerçek zamanlı olarak oldukça hızlı ve kararlı bir şekilde öğrenme yeteneklerine sahiptirler. Bu yetenek bir çok ağda yoktur. A.R.T. ağları bu

özellikleri ile gerçek zamanlı olarak kullanılabilen donanımla da desteklenerek gerçek zamanlı öğrenebilen bilgisayarların oluşmasına yardımcı olmaktadır.

- Gerçek zamanda ortam genel olarak durağan değildir. Durumların oluşumu her an beklenmedik olaylar ile değişebilmektedir. Bunun da ötesinde gerçek zamanlı olaylar sürekli devam etmektedir. A.R.T. ağları bu durağan olmayan dünyada sınırsız karmaşıklık altında çalışabilme yeteneğine sahiptirler. Diğer ağların çoğu ise durağan olarak çevrimdışı öğrenip çalışırlar. Esneklikleri yoktur. Ortama anında uyum sağlamaları çok sınırlıdır.
- A.R.T. ağları beklenen çıktıları bir öğretmenden almak yerine kendi kendine öğrenmeye çalışır.
- A.R.T. ağları ağa sunulan farklı nitelikteki ve değişik durumlardaki örnekler karşısında kendi kendilerine kararlı bir yapı oluşturabilirler. Ağa sunulan, yeni bir girdi geldiği zaman ya bilinen sınıfların kodlarına (sınıflarına) ulaşabilecek şekilde ağda iyileştirmeler yapılır ya da yeni kod (sınıf) oluşturulur. Bu ağın büyümesine neden olabilir ve ağın bütün kapasitesini kullanana kadar devam eder.
- A.R.T. ağları çevredeki olayları sürekli öğrenmeye devam eder. Uzun dönemli hafızada bulunan ağırlıklar sürekli olarak gelen girdi değerlerine göre değişmeye devam ederler.
- A.R.T. ağları girdi değerlerini otomatik olarak normalize ederler. Çok fazla ve oldukça düşük orandaki gürültülerin girdi işaretindeki etkileri ortadan kaldırılmış olur.
- A.R.T. ağlarında hem aşağıdan yukarı hem de yukarıdan aşağıya ağırlık değerleri vardır. Özellikle yukarıdan aşağıya ağırlıklar sınıfları temsil etmektedirler. Bunları ağın kendisi girdilere bağlı olarak otomatik olarak belirlemektedir. Bu ağırlıklar aynı sınıftan olan bütün örneklerin ortak yönlerini içermektedir. Bu ağırlıklardan oluşan örüntülere kritik özellik örüntüleri denmektedir. Yukarıdan

aşağı ağırlıklar ağın öğrendiği beklentileri (beklenen girdi temsilcileri) göstermektedir. Bu değerler aşağıdan yukarı gelen bilgiler ile karşılaştırılarak eşleme yapılır. Aşağıdan yukarı gelen bilgiler ile karşılaştırma kısa zamanlı hafızada (K.D.H.) oluşmaktadır. Aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı ilişkiler bir A.R.T. ağında kapalı çevrimi tanımlamaktadır.

- Bu kapalı çevrimden dolayı yukarıdan aşağı ağırlıklar K.D.H.' da yapılan karşılaştırma ile kazanç faktörünü kullanarak aynı kategoride olmayan girdilerin o kategoriye girmesini önlemektedir. Böylece kategoriye gösteren ağırlıkların gerçek zamanlı gelen farklı bir girdiden etkilenmeleri önlenmektedir. Böyle bir kontrol, yapılmaması gereken her girdi değerinin ağırlıklarını değiştirerek önceden öğrenilen bilgilerin kayıp olmasına neden olacaktır. A.R.T. bu özelliği ile sürekli öğrenmeyi desteklemekte ve önceden öğrenilenler ancak aynı gruptaki başka örneklerin yeni özellikleri olunca değiştirilmektedir. Bu özellik ise yakın eşleşme olarak bilinmektedir.
- A.R.T. ağlarının yakın eşleşme özelliğinden dolayı hem hızlı hem de yavaş öğrenebilme yetenekleri vardır. Hızlı öğrenme U.D.H. bir denemede yeni bir dengenin oluşturulması ile gerçekleştirilir. Yavaş öğrenme ile bir dengenin oluşması için birden çok denemenin yapılması durumu kastedilmektedir. Halbuki çok katmanlı algılayıcılar gibi ağlarda osilasyonları önlemek için özellikle yavaş öğrenme zorunluluğu vardır [97].

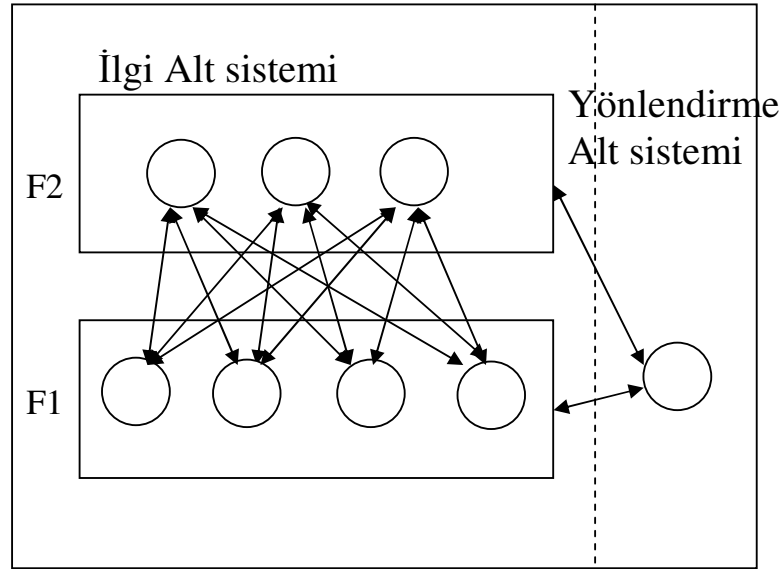
#### **5.4. Adaptif Rezonans Teorisi Ağlarının Yapısı**

A.R.T. ağları, sabit değildir. Sabit esnek ikilem aşağıdaki gibi önerilir:

Bir öğrenme sistemi, elastik veya adaptif kalmak için nasıl tasarlanır ve aynı zamanda, konu dışı olaylara karşı nasıl sabit kalabilir. A.R.T., bu problemi çözmek için Grossberg tarafından önerilen artan algoritmalarıdır. Böylece, ağlar yeni girişlere süresiz olarak adapte edilir [106].



Adaptif Rezonans Teorisi (A.R.T.) ağıları genel olarak iki katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar F1 (giriş katmanı) ve F2 (çıkı katmanı) olarak isimlendirilmiştir. Gizli katmanlar yoktur. F1 katmanı girdinin özelliklerini gösterir ve N' nin giriş örnekleri sayısının olduğu N adet düğümden oluşur. F2 katmanı kategorileri (ayrıştırılmış sınıfları) göstermektedir ve bu katmandaki düğümlerin sayısına dinamik olarak karar verilir. Çıkı katmanındaki her bir düğümün, uygun bir prototip vektörü vardır. Bu iki katman birbirlerine U.D.H. ile bağlanmaktadır. Girdi bilgileri F1 katmanından alınır ve sınıflandırma ise F2 katmanında yapılır. Ağın dinamik bilimi, ilgi alt sistemi ve yönlendirme alt sistemi olmak üzere iki alt-sistem aracılığıyla idare edilir: İlgi alt sistemi, kategori üretir. Yönlendirme alt sistemi, kategoriye kabul edip etmeyeceğine karar verir. Modelin genel yapısı Şekil 5.1 'de verilmektedir [106,107].



Şekil 5.1 : A.R.T. ağının genel yapısı [106]

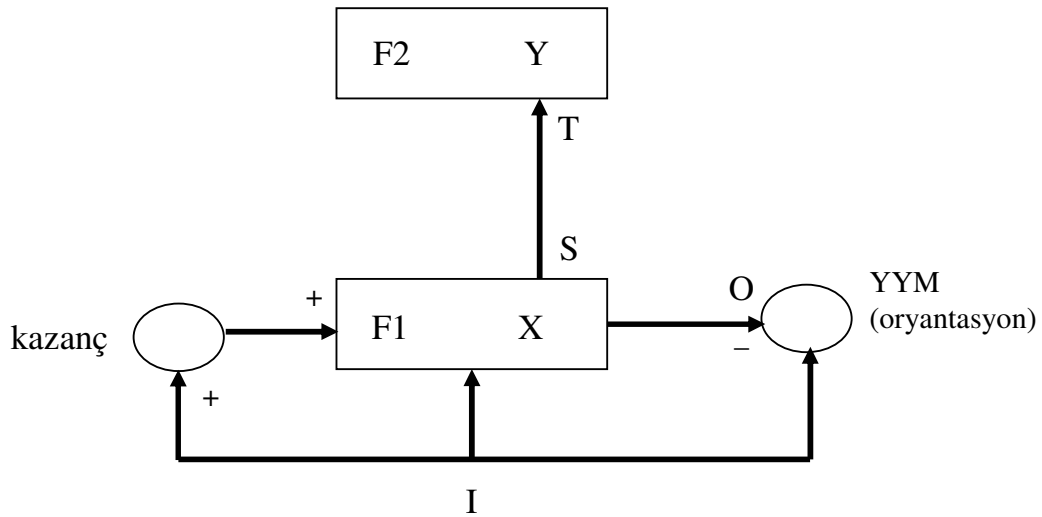
A.R.T. ağlarında girdiler direkt olarak sınıflandırılmazlar. Öncelikle girdilerin özellikleri incelenerek F1 katmanının aktivasyonu belirlenir. U.D.H.' da ki bağlantı değerleri ile gelen bilgiler kategorilere ayrılarak F2 katmanına gönderilir. F2 katmanındaki sınıflandırma ile F1 katmanından gelen sınıflandırma birbirleri ile eşleştirilerek, eğer örnek belirlenmiş bir sınıfa uyuyorsa o kategoride gösterilir. Aksi takdirde, ya yeni bir sınıf oluşturulur yada girdinin sınıflandırılması yapılmaz [107].

## 5.5. Adaptif Rezonans Teorisi Ağlarının Çalışma Prensipleri

A.R.T. ağları örnekler ile modelleri ilişkilendirir. Birinci katman (F1), giriş örneklerini alır ve elinde tutar. İkinci katman (F2) ise, verilen giriş örneği ile ilişkilendirilen örneği kıyaslar. Eğer giriş örneği ilişkilendirilen örnek ile benzerse eşleşme vardır. Eğer benzer değilse yeni bir kategori oluşturulmaktadır. A.R.T. ağları çift yönlü olarak çalışmaktadır [104]:

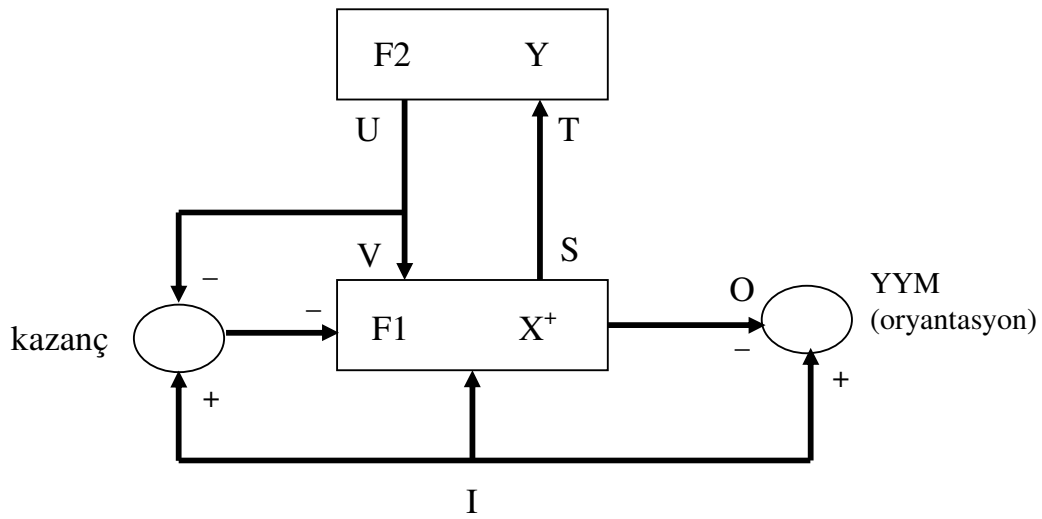
- Aşağıdan yukarı (F1 den F2'ye) bilgi işleme
- Yukarıdan aşağı (F2 den F1'e) bilgi işleme

A.R.T. ağlarında aşağıdan yukarı bilgi işleme prensibi Şekil 5.2.' de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, bir girdi örüntüsü (I) ağa gösterilir. Bu örüntü hem F1 katmanında K.D.H. da X aktivite örüntüsünü oluşturur hem de oryantasyon sistemini veya diğer bir deyişle yeniden yerleştirme modülünü (Y.Y.M.) aktif etmeye bir işaret gönderir. Benzer şekilde oluşturulan X örüntüsü hem Y.Y.M.'ne bir men-edici işaret (O) göndermekte hem de F1 katmanından bir çıktı örüntüsü (S) oluşturmaktadır. S sinyali F2 katmanına giden bir girdi örüntüsüne (T) dönüştürülür. Bu girdi örüntüsü ise F2 katmanının çıktısı olan örüntüyü (Y) oluşturur. Bu aynı zamanda ağında çıktısıdır. Bu şekilde aşağıdan yukarı (F1 katmanından F2 katmanına) bilgi işleme tamamlanmış olur.



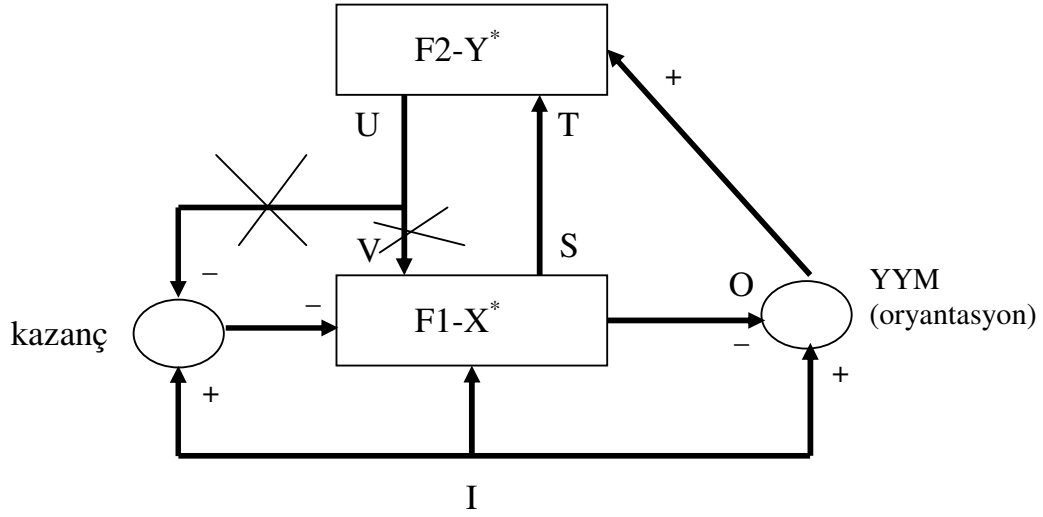
Şekil 5.2 : A.R.T. ağında çıktı oluşturma süreci (aşağıdan yukarı) [97]

Yukarıdan aşağı bilgi işleme de, benzer şekilde, Şekil 5.3.' de gösterildiği gibi yapılmaktadır. Bu durumda, F2 katmanında oluşturulan çıktı örüntüsü yukarıdan aşağıya bir sinyal (U) gönderir. Bu sinyal daha sonra beklenen şablon örüntüye (V) dönüştürülür. Aynı zamanda kontrol faktörü (kazanç) için men-edici bir işaret üretir. Bundan sonra şablon örüntünün girdi örüntüsü ile eşlenip eşlenemeyeceği sınanır. Eğer böyle bir eşleşme mümkün değilse o zaman F1 katmanında yeni bir K.D.H. örüntüsü ( $X^*$ ) oluşturulur. Bu örüntü oryantasyon sistemindeki men-edici işaretin etkisini azaltır.



Şekil 5.3 : A.R.T. ağında çıktı oluşturma süreci (yukarıdan aşağı) [97]

Oluşturulan  $X^*$  sinyali oryantasyon sisteminde O işaretinin men edici etkisini azaltarak YYM' nin (oryantasyon modülünün) F2 katmanına bir sinyal göndermesini sağlar. Bu işaret F2 katmanında  $Y^*$  örüntüsünü oluşturur. Böylece, Şekil 5.4.' de gösterildiği gibi girilen I örüntüsü için doğru sınıfı gösteren  $Y^*$  çıktısı üretilmektedir.



Şekil 5.4 : A.R.T. ağında yeni bir sınıf oluşturma [97]

Eğer üretilen  $V$  şablon örüntüsü ile girdi örüntüsü eşleşir ise o zaman sadece yukarıdan aşağı o girdinin sınıfını gösteren ağırlıklar değiştirilir. Bu değiştirme öğrenme kuralına göre gerçekleştirilir. Her A.R.T. modelinin öğrenme kuralı ayrıdır [97].

A.R.T. ağlarında sisteme sunulan her yeni girişte, bağlantı ağırlıkları güncellenmektedir [104].

## 5.6. Adaptif Rezonans Teorisi Ağlarındaki Farklı Modeller

1976 yılından bugüne kadar değişik A.R.T. ağları tanımlanmıştır. Bunlar arasında A.R.T.1, A.R.T.2, A.R.T.3, A.R.T.M.A.P., Bulanık A.R.T. gibi ağları saymak mümkündür. Bu ağların hepsi aslında aynı temel felsefeye dayanmakta ve çok az farklılıklar göstermektedir. En yaygın olarak kullanılan A.R.T.1 ve A.R.T.2 ağlarıdır [97].

### 5.6.1. Adaptif rezonans teorisi 1

- A.R.T.1 Carpenter ve Grosberg tarafından nöral ağlar için geliştirilen ilk adaptif rezonans teorisi ağı modelidir.
- A.R.T.1' de, girdi kalıbı sınıflandırmasında saklanan desenler denenirler, eğer başarısız olurlarsa yeni bir sınıflandırma oluşturulur. Eğitim öğreticisizdir.

Eğitimin iki versiyonu vardır: hızlı ve yavaş. Yavaş eğitim diferansiyel eşitliklerle hızlı eğitim ise cebirsel eşitliklerle sağlanmaktadır.

- Öğretmensiz öğrenme (kümelenendirme)
- İkilik girişler
- Sabit
- Ağırlık değerlerini ayarlayarak yeni girişleri kodlar
- Aşağıdan – yukarı ağırlıklar sınıflandırmayı sağlayan adaptif filtrelerdir.
- Yukarıdan – aşağı ağırlıklar mevcut girişle örneğin ağının sunumunu karşılaştırarak sınıflandırmanın doğru olup olmadığını test etmek için kullanılır.
- Operasyonları açıklarken geleneksel küme teorisini ve mantığını kullanılır.

### **5.6.2. Adaptif rezonans teorisi 2**

- Sürekli değerli giriş örnekleriyle çalışır
- Bir çok varyasyon karmaşıktır

### **5.6.3. Adaptif rezonans teorisi 3**

- Biyolojik olarak esinlenmiş ve teori geliştirmek için kullanılmaktadır

### **5.6.4. Bulanık adaptif rezonans teorisi**

- A.R.T.1' e benzer fakat mantıksal operasyonları bulanık mantık ile yer değiştirmiştir ve ağın sürekli değerli girişlerine izin vermektedir.

Adaptif Rezonans Teorisi ve Bulanık Adaptif Rezonans Teorisi arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

- Her ikisi de kümelenendirme ağıdır. A.R.T. sadece ikilik giriş ve çıkış örnekleriyle işlem yapar. Bulanık A.R.T. sürekli değer'li verilerle çalışır
- A.R.T. işlemlerini açıklamak için ikilik küme teorisi kullanır. Bulanık A.R.T. sürekli değerli bulanık küme teorili operasyonlar (işlemler) kullanır.

- İki katmanlı eğiticişiz öğrenme modelidirler.
- Uygunluk parametresi kaç kümenin oluşturulacağını kontrol eder. Yüksek uygunluk az elemanlı daha fazla küme oluşturur. Düşük uygunluksa çok elemanlı daha az küme oluşturur.
- Küme merkezlerinin giriş örneklerinin (ağırlık kümesi) temsilini çabucak oluşturduğu durumlarda öğrenme hızlı olabilir. Ağırlıkların küme merkezlerini oluşturmada yapılan kademeli değişiklikler alternatif yavaş öğrenmedir.
- Prototip değerlerini kodlayan kümelere ağırlıklar liderlik eder.

#### **5.6.5. A.R.T.M.A.P. ve bulanık A.R.T.M.A.P.**

- Eğiticili öğrenme sistemini yaratmak için birleşmeli hafızayla, iki eğiticişiz öğrenme sınıflandırma ağımı birleştirir. (A.R.T.1 ve Bulanık A.R.T.) [97,108,109].

## 6. BULANIK ADAPTİF REZONANS TEORİSİ MODELİ

Carpenter, Grossberg ve Rosen tarafından 1991' de geliştirilen Bulanık Adaptif Rezonans Teorisi (Bulanık A.R.T.), çıkış düğümlerini hem analog hem de ikili örnekler halinde bulanık mantık ile ele alan bir metottur. Adaptif rezonans teorisinden farklı bir öğrenme kuralı vardır. İki katmanlı sinir ağından oluşan Bulanık A.R.T. ağı, adaptiftir, öğrenmeyi danışmansız gerçekleştirmektedir ve eğitime ihtiyacı yoktur. Ağ; F1, giriş veya karşılaştırma katmanı ile F2, çıktı veya sınıflandırma katmanı olarak adlandırılan iki katmandan oluşmaktadır. Ağın ağırlık değeri  $w_{ji}$ ,  $[0,1]$  aralığında değer almaktadır.  $i$  ve  $j$  indisleri sırayla F1 ve F2 katmanlarına ait olan sinirleri göstermektedir [102,110].

Bulanık kelimesi kullandığı fonksiyonlardan türemiştir ancak tam anlamıyla bulanık değildir. Verileri kümelendirirken bulanık A.R.T. tam bir lider algoritma gibi davranır, örneğin, birinci giriş birinci küme ile karşılaştırılır eğer gerekirse yeni kümeler oluşturur [111,112].

### 6.1. Bulanık Adaptif Rezonans Teorisi Özellikleri

1. Bulanık A.R.T., A.R.T.1 e benzerdir ama 0 ve 1 arasında bulanık üyeliği gösteren devamlı girişler kullanır. Ağırlıklar, sürekli ve 0 ile 1 arasındadır.
2. Giriş vektörleri için tamamlayıcı kodlama kullanması tavsiye edilir. 2 çeşit öğrenme alternatifi vardır. Birincisi  $\beta = 1$  olan hızlı öğrenmedir. İkincisi  $\beta < 1$  olan yavaş öğrenmedir.
3. Eğitilebilir ağırlıkların ( $w$ ) bir katmanı vardır. Tüm ağırlıklar başlangıçta 1 e eşittir. Bir uygunluk ( $\rho$ ) parametresi vardır ve bu değer, girişin saklanan küme örneğine ne ölçüde yakın olması istendiğini belirlemektedir.

Kümelendirme düğümlerinde giriş değerinin paydasında sabit bir  $\alpha$  bulunmaktadır.

Bulanık A.R.T. 'ın tanımlaması: Bulanık A.R.T. gerçek sayı sınıflandırıcıdır. Bundan dolayı, dijital, benzer ve karıştırılmış sinyal devreleri işlemi yapabilir. Bulanık A.R.T., tanıma için görüntü sunumunda, ezberlenen görüntülerin ilişkisini tanımlamak için bulanık mantık hesaplarını kullanır [103,112].

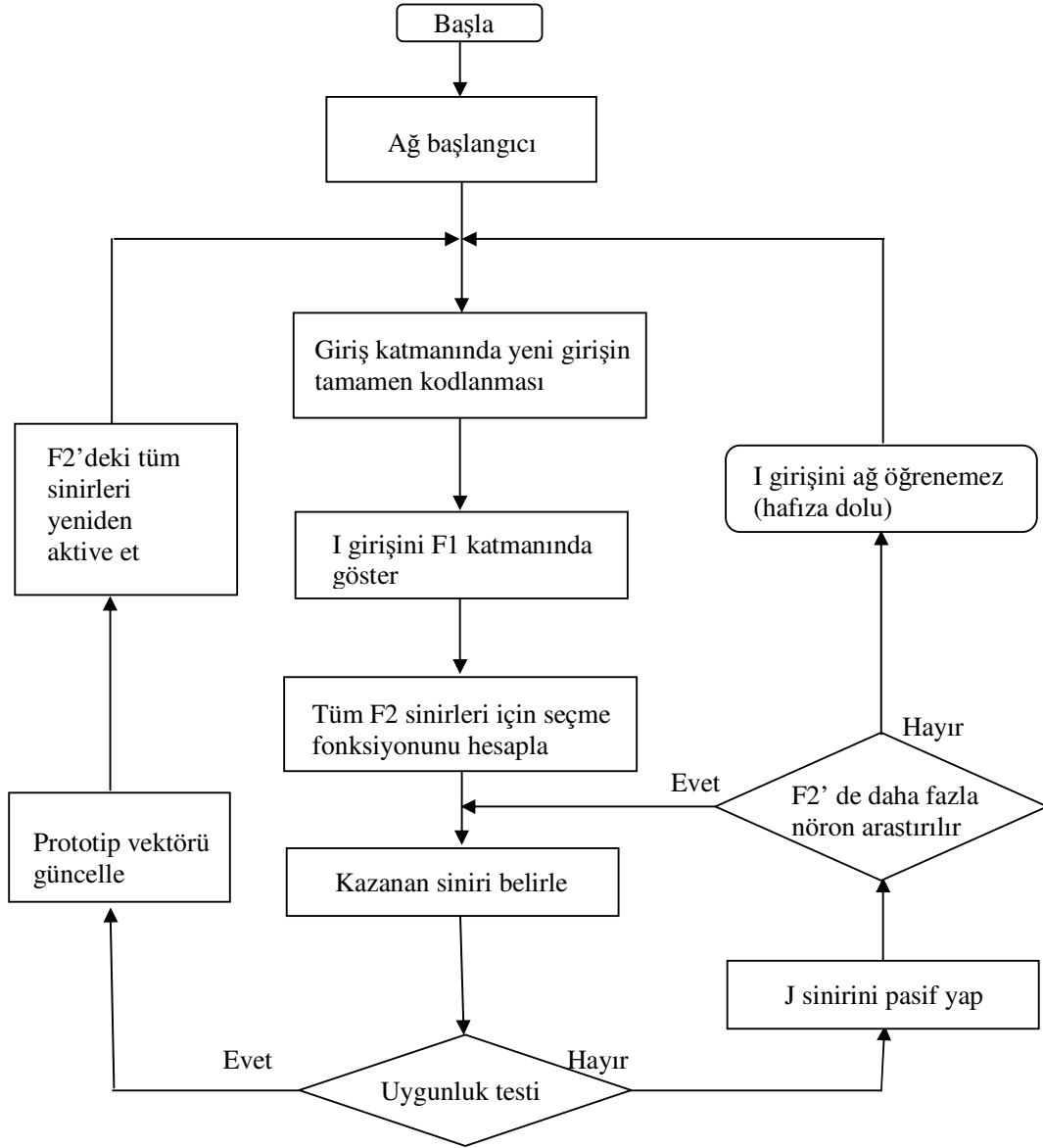
Bulanık A.R.T. ağı, adaptif rezonans teorisine dayanır. Bu nedenle benzer verileri kategoriler içinde özetleyerek çalışır ve bulanık küme teorisi işlemleri üzerine kuruludur. Bundan dolayı girdi değerleri, ağ bağlantılarının ağırlıkları gibi sıfır ve bir arasında yayılır.

Ağ, hazırlık ve uyum alt sistemleri olmak üzere iki temel alt sistemden oluşur;. F1 girdi katmanı ve F2 ağı rekabet katmanı, (tanımlama katmanı da olur) hazırlık alt sistemini oluşturur. F1 ve F2 katmanlarını tamamen birleştiren aşağıdan – yukarı ve yukarıdan – aşağı ağırlıkları, girdi modellerine göre uyarlamalı olarak güncellenebilir [113].

## **6.2. Bulanık ART Algoritmasının Algoritmik Açıklaması**

Bulanık A.R.T. ağının fonksiyonelliği, bir akış şeması olarak aşağıda Şekil 6.1.' de açıklanmaktadır [110].





Şekil 6.1 : Bulanık A.R.T. algoritmasının akış şeması [110]

Bulanık ART algoritmasının genel yapısı ise aşağıda belirtilmektedir:

Algoritma 1. Bulanık ART veri kümelendirme

**While** yeni giriş var **do**

    Tüm prototipleri aktive et

**While** aktif prototip var **do**

**Bul**, fonksiyon (1)' le (aşağıda bak), giriş ile en yüksek uyumluluğa sahip prototipi

        Değerlendir, fonksiyon (2) ile, prototiple uyumluluğa sahip girişi

**If**, bu değer daha büyük veya eşit, tedbir (eşik) parametresi  $\rho$  ( $\rho \in [0,1]$ ) sonra

            Ayarla prototipi fonksiyon (3) ile, ve yeni girişle atla

**Else**

            Engelle prototipi bir sonraki giriş (örneğin, mevcut giriş için yarışmayacaktır) ve yeni bir prototip dene

**Done**

**If** hiçbir aktif prototip kalmadıysa örneğin yeni bir tane ve atla yeni girişle

**Done** [107].

### 6.3. Bulanık A.R.T. Algoritmasının Kronolojik Literatür Taraması

Bulanık A.R.T. alanında bugüne değin yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve kronolojik sıra ile aşağıda belirtilmiştir:

1991 yılında, Bulanık A.R.T. algoritması geliştirilmiştir [114].

1994 yılında, Bulanık A.R.T. algoritmasının özellikleri geliştirilmiştir [115].

1997 yılında, seçim ve eşleştirme fonksiyonlarını aynı katmanda gerçekleştiren alternatif bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bulanık A.R.T. sinir ağından meydana gelmiş hiyerarşik bir metod önerilmiştir [116,117].

1999 yılında, Bulanık A.R.T. algoritmasının öğrenme özellikleri detaylandırılmıştır. Parça-makine matrisinin sıra bağımlı kümelenmesine Bulanık A.R.T. algoritması uygulanmıştır [118,119].

2000 yılında, Giriş / çıkış uzayında bulanık kümelendirme yaparak Bulanık A.R.T. teorisi uygulanmıştır [120].

2001 yılında, Bulanık A.R.T. algoritması kullanılarak robust örnek tanıma geliştirilmiştir. Bulanık A.R.T. kullanılarak gen açıklama analizi gerçekleştirilmiştir [121,122].

2002 yılında, Bir bakterinin sporlanması sırasında zaman serileri verilerinin analizi için Bulanık A.R.T. algoritması uygulanmıştır. Bulanık A.R.T. algoritması ve L.V.Q. modelini uygulayan bir çip geliştirilmiştir. Zor kümelendirme algoritması olan geleneksel Bulanık A.R.T. algoritması modifiye edilerek yumuşak kümelendirme algoritması elde edilmiştir. Bulanık A.R.T. tarafından kümelendirilmiş genlere ısı şoku uygulanmıştır. Bulanık A.R.T. ve Bulanık A.R.T.M.A.P.' in orijinal çatısında yeni geometrik kavramlar bulunmuştur [123,124,125,126,127].

2003 yılında, makine-parça gruplama için Bulanık A.R.T. ve hiyerarşik kümelendirme uygulanmıştır [128].

2004 yılında, Parça – makine hücre oluşturma problemleri için Bulanık A.R.T. sınır ağının optimum parametre değerleri bulunmuştur. İmalat kalitesi izleme için Bulanık A.R.T. sınır sistemi kullanılmıştır. Görüntü bölümlendirmesi için modifiye edilmiş Bulanık A.R.T. algoritması uygulanmıştır [129,130,131].

2005 yılında, Elektrik yük – tahmin probleminde Bulanık A.R.T.&A.R.T.M.A.P. sınır ağı uygulanmıştır [132].

2006 yılında, Bulanık A.R.T. ve Bulanık A.R.T.M.A.P. ağlarının geometrik özellikleri ortaya konmuştur. Örnek sınıflandırma için Bulanık ART sınır ağı uygulanmıştır [133,134].

#### 6.4. Bulanık A.R.T. ve A.R.T. 1 Arasındaki Farklılık

A.R.T.1' e bulanık küme teorisinin dahil edilmesiyle, Bulanık A.R.T. analog örnekleri öğrenir ve kategorize eder. Hem analog hem de ikilik giriş örneklerinin öğrenmesinin genelleştirilmesi, A.R.T.1' deki kesişim operatörü ( $\cap$ ) mantıksal AND' in görünüşünü bulanık küme teorisinde min operatörü ( $\wedge$ ) olarak almasıyla sağlanır.

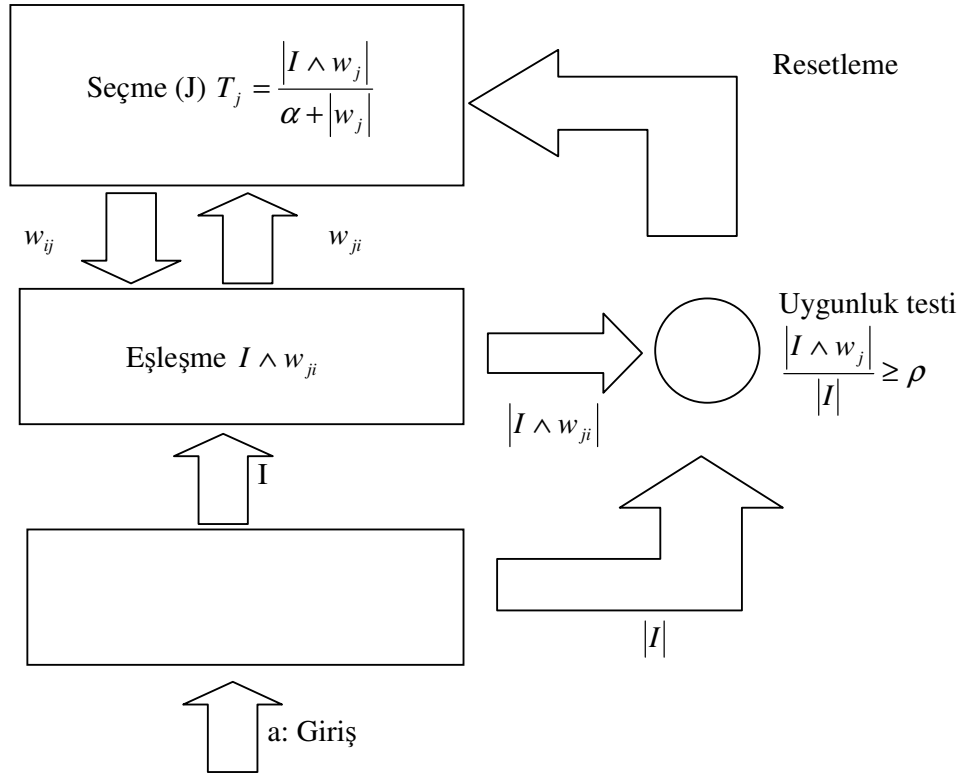
Aşağıda Şekil 6.2' de A.R.T.1 işlemlerinin Bulanık A.R.T.' de nasıl olduğu gösterilmektedir.

	ART1	Bulanık ART
Kategori seçimi	$T_j = \frac{ I \cap w_j }{\alpha +  w_j }$	$T_j = \frac{ I \wedge w_j }{\alpha +  w_j }$
Eşleşme fonksiyonu	$\frac{ I \cap w_j }{ I } \geq \rho$	$\frac{ I \wedge w_j }{ I } \geq \rho$
Hızlı öğrenme	$w_j^{(yeni)} = I \cap w_j^{(eski)}$	$w_j^{(yeni)} = I \wedge w_j^{(eski)}$
	$\cap =$ mantıksal VE operatörü (kesişim)	$\wedge =$ Bulanık VE operatörü (minimum)

Şekil 6.2 : A.R.T.1 ve Bulanık A.R.T. arasındaki analogi [133]

#### 6.5. Bulanık A.R.T. Algoritması

Aşağıda şekil 6.3. de, basit Bulanık A.R.T. algoritması yapısı gösterilmektedir. Her bir girişi ( $I$ ),  $m$ -boyutlu vektör ( $I_1, I_2, \dots, I_m$ ) temsil etmektedir ve her bir  $I_i$   $[0,1]$  aralığındadır.



Şekil 6.3 : Bulanık A.R.T. mimarisi [133]

Her bir kategori (j),  $w_j = w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jm}$  ağırlıklarını temsil eder. Potansiyel kategoriler  $N$  ( $j=1, 2, \dots, N$ ) rassaldır. Bulanık A.R.T. ağırlık vektörü  $w_j$  hem aşağıdan – yukarı ağırlık vektörlerini hem de yukarıdan – aşağı ağırlık vektörlerini gösterir [133].

Temel Bulanık ART algoritması, aşağıda tanımlanmıştır:

Adım 1: Normalizasyon: Aşağıda denklem 6.1. yardımıyla veriler normalize edilmektedir.

$$I = \frac{a}{|a|} \quad (6.1)$$

Adım 2: Başlangıç: Tüm parametreler başlangıç durumuna getirilir ve parametreler kullanıcı tanımlıdır:

- Uygunluk parametresi  $\rho$  ( $0 \leq \rho \leq 1$ ) : aynı kümede ne kadar benzer örneklerin bulunacağını tanımlar. F2' de oluşturulan kategori sayısından sorumludur.
- Seçme parametresi  $\alpha$  ( $\alpha > 0$ ): kategori seçiminde etkilidir.
- Öğrenme oranı  $\beta$  ( $\beta \in [0,1]$ ) : ağ adaptasyonunun hızını kontrol eder. eğer  $\beta = 1$  olursa, hızlı öğrenme ortaya çıkar. B' nin 0' a yaklaşması öğrenme oranını azaltır.

Eğer veri karmaşıksa veya kategorilerin hızlıca seçimi yanlışsa neden olacaksa yavaş öğrenme tercih sebebidir.

Adım 3: Ağırlık Başlangıcı: Başlangıçta bütün ağırlıkların derecesi denklem 6.2. de olduğu gibi birbirine eşit ve 1 olarak ayarlanmaktadır.

$$w_{j1}(0)=\dots=w_{jM}(0)=1 \quad (6.2)$$

Ağırlık vektörü: her bir kategori (j), vektör  $w_j \equiv (w_{j1}, \dots, w_{jM})$  nin adaptif ağırlıklarına uygun gelir veya uzun dönemli hafıza (U.D.H.) yı ortaya çıkartır. Potansiyel kategorilerin sayısı N ( $j=1, \dots, N$ ) rasgele seçilmiştir. Başlangıçta, her bir kategorinin bağımsız olduğu söylenir. Alternatif olarak, başlangıç ağırlıkları  $w_{ji}$  1' den daha büyük alınabilir. Daha büyük ağırlıklar bağımsız düğümlerin seçiminde sisteme karşıt eğilim gösterebilirler.

Kodlama için kategori seçildikten sonra ağırlık bağımlı hale gelir. Bulanık A.R.T. ağırlık vektörü,  $w_j$ , A.R.T.1' in hem aşağıdan yukarı hem de yukarıdan aşağı ağırlık vektörlerini kapsar.

Adım 4: Giriş vektörünün ağa gösterimi: İkilik yada analog elemanlardan oluşan giriş vektörü (I) ağa gösterilmektedir.

I: her bir giriş I M-boyutlu bir vektördür ( $I_1, \dots, I_M$ ), her bir bileşen  $I_i$ , [0,1] aralığındadır.

I:=[sonraki giriş vektörü]

P:= aday prototip vektörü kümesini al

Adım 5: Kategori seçimi: Her bir giriş düğümü (kategori) için, seçme fonksiyonu  $T_j$  aşağıda 6.3. numaralı denklemlerle tanımlanmaktadır. Maksimize edecek en yakın prototip vektörü bulunmaktadır.  $F1'$  deki giriş vektörü  $I$ ,  $F2'$  deki her bir  $j$  düğümü için verilmiştir.

$$T_j(I) = \frac{|I \wedge w_j|}{\alpha + |w_j|} \quad (6.3)$$

Burada,  $\wedge$  Bulanık AND (ve) operatörüdür,  $(x \wedge y) = \min(x_i, y_i)$  olarak belirlenir.

Adım 6: En büyük seçme fonksiyonu aşağıdaki 6.4. numaralı denklem ile seçilmektedir.

$$T_j = \max\{T_j : j = 1, 2, 3, \dots, N\} \quad (6.4)$$

Adım 7: Rezonans testi (Uygunluk testi): Aşağıdaki 6.5. numaralı denklem sağlanıyorsa Adım 9' a aksi halde Adım 8' e gidilmektedir.

$$\frac{|I \wedge w_j|}{|I|} \geq \rho \quad (6.5)$$

Bir önceki adımda seçilmiş olan prototip, uygunluk testine tabi tutulur. Uygunluk testi, kazanan prototip ile mevcut giriş çifti arasındaki benzerliği karşılaştırır. Uygunluk parametresi kullanıcı tanımlıdır. Eğer prototip uygunluk testini geçerse verilmiş olan giriş örneğine adapte edilir.

Aksi halde, mevcut prototip mevcut giriş örneği için pasif yapılır ve  $F2$  katmanındaki diğer prototipler, prototiplerden biri testi geçene kadar uygunluk testine girmeye başlarlar. Eğer hiç biri testi geçemezse; mevcut giriş için yeni bir prototip yaratılır. Eğer denklem 6.6 sağlanıyorsa Adım 2 ye gidilir ve bir sonraki giriş için devam edilir.

$$\frac{|I \wedge w_j|}{|I|} < \rho \quad (6.6)$$

Eğer rezonans meydana gelirse Adım 8 e git aksi halde Adım 7 ye git.

Adım 8: Reset :

$T_{\theta} = -1$  olarak ayarla ve Adım 6' ya git

Adım 9: Ağırlık güncellemesi: Uyuşan prototip için aşağıdaki denklem 6.7' ye göre mevcut giriş örneği güncellenir.

Bu giriş ve seçilen ilk örnek arasındaki uyumluluğu hesaplar. Eğer değer uygunluk parametresi  $\rho \in [0,1]$  den büyük veya eşitse geçilir. Sezgisel olarak, prototipin girişine ne kadar benzer olduğunu göstermelidir. Bu prototip, son prototipin temsil ettiği kümeyle birleşmesine izin verir. Sonuç olarak,  $\rho$  için daha büyük değer daha küçük kümeleri, daha düşük değer ise geniş kümeleri ifade etmektedir.

$$w_j^{(yeni)} = \beta(I \wedge w_j^{(eski)}) + (1 - \beta)w_j^{(eski)} \quad (6.7)$$

Adım 10: Tekrarla: Adım 4' e gidilir.

Güncellemeden sonra, tüm prototipler yeniden aktive edilir ve algoritma bir sonraki girişle devam eder [106,107,108,114,134].



## 7. H.T.E.A.' NIN BULANIK A.R.T. İLE ÇÖZÜMÜNE ÖNERİLEN YÖNTEM

Bu çalışmada H.T.E.A. problemi Bulanık A.R.T. yöntemi ile yeniden tasarlanarak geleneksel yöneme yöneltilen eleştirilerin (bkz. Bölüm 3.8) bir kısmına çözüm getirilmiştir. Klasik H.T.E.A. yöntemine Bulanık A.R.T. algoritmasının bulunduğu katkılar bu bölümün sonunda detaylı olarak belirtilmektedir.

Çalışmanın hedefleri:

- Hata türlerinin değerlendirilmesi ve üzerinde çalışılacak sebeplerin belirlenmesi daha matematik tabanlı bir yöntemle yapılmalıdır.
- Yaklaşım, yukarıda da değinilen, klasik H.T.E.A. yönteminin yetersiz kaldığı kısımlara çözüm getirebilecek nitelikte olmalıdır.
- Hata türlerinin önceliklendirilmesi süreci, katılımcıların deneyim seviyelerine duyarlılıktan mümkün olduğunca uzaklaştırılmalıdır.
- Yöntem mümkün olduğunca basit ve kolay uygulanabilir olmalıdır.
- Hedeflenen kalite düzeyine ulaşma anlamında daha etkin bir yöntem geliştirilmelidir.

Önerilen yöntemin temel dayanakları:

Klasik Hata Türü ve Etkileri Analizi (H.T.E.A.) yönteminde, Risk Öncelik Göstergesi (R.Ö.G.), kritiklik sayısı göstergesidir. R.Ö.G. her bir hata türü veya nedeni için 'Şiddet (Ş)', 'Olasılık (O)', ve 'Keşfedilebilirlik (K)' gibi üç risk faktörü esas alınarak belirlenen sayısal bir değerdir. R.Ö.G. değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılıksal olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında atanan değerleri alınır. R.Ö.G. ile her bir hata türü sebebi için riskler tanımlandığından en büyük R.Ö.G.' ne sahip olandan başlayarak uzun dönemde

ortadan kaldırılması kısa dönemde en aza indirilmesi için alınacak düzeltici önlemler belirlenir.

R.Ö.G. değerlerin bulunmasında yer alan üç risk faktörünün (Şiddet, Olasılık ve Keşfedilebilirlik) değerlerinin analizcilerin kişisel yargılarına göre belirlenmesi, risk düzeyine göre önceliklerin belirlenmesinde yeterlidir. Ancak değerlendirmelerin kişi yargıları esas alınarak yapıldığı belirtilmelidir. Kişi deneyim ve yargılarına göre değer ataması yapıldığında, aynı düzeyde değerlendirme yapabilmek için tüm değer atama işlemleri belirli bir zaman dilimi içinde tamamlanmalıdır.

Risk Öncelik Göstergesi (R.Ö.G.), Şiddet (Ş), Olasılık (O) ve Keşfedilebilirlik (K) değerlerine iki farklı matematiksel işlem uygulanması ile hesaplanır;

- Çarpma işlemi ile  $R.Ö.G. = \text{Ş} \times O \times K$
- Toplama işlemi ile  $R.Ö.G. = \text{Ş} + O + K$

Ancak uygulamada yaygın olarak kullanılan yaklaşım risk faktörleri olan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri ile çarpma işlemi yardımıyla R.Ö.G. değerini hesaplamaktadır. Aşağıda, R.Ö.G.'nin hesaplama süreci gösterilmektedir.

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

Analizi yapılan ürün veya sistemin öngörülen kalitesi hakkında genel bir fikir edinmek için R.Ö.G. değerlerinden yararlanır. Ayrıca gerçekleştirilecek iyileştirme çalışmalarının izlenmesi de kolaylaşmış olur.

Burada, “olasılık” hataya yol açabilecek sebebin frekansı, “şiddet” hatanın etkisinin ciddiyeti, ağırlığı ve etki gücü ve “keşfedilebilirlik” de söz konusu sebebin ve buna bağlı olarak hatanın kullanıcıya ulaşmadan farkedilebilme imkanınıdır. Bu değerlendirmelerde 1 den 5'e veya 10' a kadar olan derecelendirmeler kullanılır.

Yukarıdaki aşamalardan sonra R.Ö.G. değerlerinin hesaplanması ile elde edilen puanlardan hareketle hangi hata türleri ve sebeplerinin düzeltici faaliyetler uygulanarak çözümlenmesi gerektiği saptanır. Bu şekilde tüm hata türleri ve sebepleri en yüksek R.Ö.G. puana sahip olandan en küçük değeri alana doğru bir sıralama yapılarak önceliklendirilebilir. Daha sonra hangi hata türleri üzerinde düzeltici önlemler alınacağını belirleyebilmek amacıyla bir eşik değeri saptanır.

Eşik değeri belirleyebilmek için belirli bir güven seviyesinin kabul edilmesi en uygun yöntemdir. Her üç önceliklendirme kriteri için 10' lu derecelendirme kullanıldığında toplam puanın en yüksek  $10 \times 10 \times 10 = 1000$  olacağı açıktır. % 99 istatistiksel güven hedeflendiğinde  $1000 - 990 = 10$  olacaktır. Elde edilen bu sayı "R.Ö.G. puanı 10' un üzerinde olan her bir hata türü ele alınmalı" anlamına gelmektedir. Ancak, istatistiksel güven seviyesi % 90 kabul edildiğinde eşik değeri 100 puana çıkacaktır. Sonuç olarak, eşik değeri kabulü ekibin sorumluluğunda belirlenmektedir. Burada, ekip, istatistiksel güven seviyesinin yanı sıra firmanın ve ürünün pazardaki imajı ve konumu, ürünün kullanım yerinin kritikliği ve problemlerin giderilebilme kolaylığı veya zorluğunu ve ürünün fiyat ve rekabet seviyesini de dikkate alarak en uygun eşik değeri belirler.

Yukarıda yazılanlara ilave olarak, R.Ö.G. değerlerine göre düzeltici önlem alma kararları ise;

- R.Ö.G. < 40 ise önlem almaya gerek yoktur,
- $40 < \text{R.Ö.G.} < 100$  önlem alınmasında fayda vardır,
- R.Ö.G. > 100 ise mutlaka önlem alınması gerekir.

Yukarıda anlatılan klasik H.T.E.A. yöntemine göz gezdirildiğinde yöntemin zayıf yönleri göze çarpmaktadır. Aşağıda yöntemin zayıf kalan yönlerine, bu çalışmada uygulanan Bulanık A.R.T. Algoritmasının yaptığı katkılar belirtilmektedir:

1. Özellikle puanlama ile ilgili olarak yapılan bir çok kabul H.T.E.A. yönteminin zayıf yönlerinden biridir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında önceliklendirme

kısının daha matematik tabanlı bir karar verme yöntemi ile desteklenmesi düşünülmüştür.

2. Belirlenen eşik değerin üzerinde kalan tüm hata türü sebepleri için düzeltici önlemlerin saptanması gerekir. Çalışmaya Bulanık A.R.T. algoritması uygulayarak, hata sebepleri benzerliklerine göre öncelikle sınıflara ayrılmakta daha sonra öncelik sırası algoritması kullanılarak elde edilen sınıflar önemliden önemsizye göre sıraya sokulmakta ve öncelikli olarak düzeltilmesi gereken hata sınıfları belirlenmektedir. Bu şekilde düzeltilmesi gereken hata sayısında önemli ölçüde bir azalma göze çarpmaktadır.

3. Klasik H.T.E.A. yönteminde R.Ö.G. değerini oluşturan üç risk faktörü (şiddet, keşfedilebilirlik ve olasılık) ayrı ayrı ölçülüp, birbirleri ile çarpılmak suretiyle tek bir değer üzerinden (R.Ö.G.) değerlendirilmektedir. Bu durum da, üç risk faktörü değerinin ayrı ayrı kaybına sebebiyet vermektedir. Çalışmada önerilen Bulanık A.R.T. metodunda ise R.Ö.G. değerini oluşturan, şiddet (Ş), keşfedilebilirlik (K) ve olasılık (O) değerleri, her bir giriş için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Böylelikle R.Ö.G. değerleri birbirine eşit olduğu halde farklı şiddet, keşfedilebilirlik ve olasılık değerlerine sahip H.T.E.A. değerleri 3 risk faktörünün çarpımından oluşan R.Ö.G. sonucuna göre değil, onu oluşturan 3 ayrı risk faktörünün değerleri tek tek göz önünde bulundurulurken bir değerlendirme yapılmaktadır. Böylelikle Bulanık A.R.T. algoritması kullanılarak, aşağıda ifade edilen iki farklı sakıncanın ortaya çıkması engellenmektedir. Bu sakıncalar;

- İki yöntem birbiri ile karşılaştırıldığında; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerlerinin bazıları çok yüksek düzeyde ve önlem alınması gerekmesine rağmen üç risk faktörünün çarpımı sonucu elde edilen R.Ö.G. değeri 100' ün altında olduğunda, hatanın önceliklendirilmesi göz ardı edilmektedir.
- Bazen şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik risk faktörlerinin farklı kombinasyonları bir tek R.Ö.G. değeri oluşmasını sağlayabilmektedir. Ancak bu farklı olayların risk anlamları aynı olmamaktadır. Bu durum, zaman veya kaynak israfına hatta bazı hallerde önemsenmeyen yüksek riske neden olabilmektedir [60].

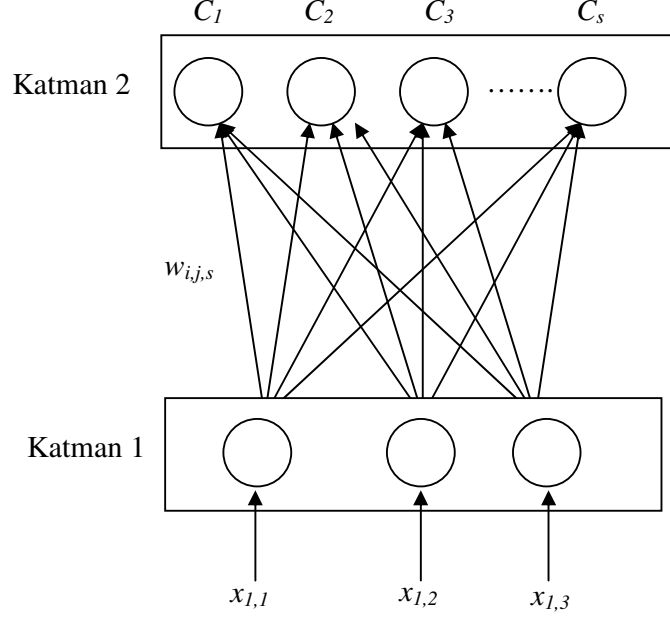
4. Klasik H.T.E.A. yönteminde, bir tek R.Ö.G. değeri bir çok farklı kombinasyonla elde edilebilirken, bazı R.Ö.G. değerlerini elde edecek her hangi bir şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik kombinasyonu bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında uygulanan Bulanık A.R.T. Algoritması kullanıldığı takdirde belirlenen uygunluk parametresi değeri, R.Ö.G.' ü oluşturan; keşfedilebilirlik, şiddet ve olasılık risk faktörü değerlerinin üçlü değerleriyle ayrı ayrı karşılaştırılıp iyileştirmeler, programın çalıştırılması sonucu elde edilen sınıflardan gerekli olan(lar) için yapılmaktadır.

### **7.1. H.T.E.A.' nın Bulanık A.R.T. İle Çözümü İçin Önerilen Yöntem**

Geliştirilen yöntem ana hatlarıyla özetlenecek olursa, öncelikli olarak mevcut H.T.E.A. yönteminde yer alan olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerleri her bir hata sebebi için ayrı ayrı normalize edilerek giriş değerleri olarak ele alınmış, algoritmada yer alan parametrelere (seçme, uygunluk ve öğrenme oranı parametreleri) göre ve algoritma adımları gözetilerek gerekli hesaplamalar yapılmış ve uygunluk parametresi ölçüsünde hata türleri birbirleri ile karşılaştırılarak benzerlik gösteren hatalar aynı sınıfta sınıflandırılmıştır. Son olarak her bir sınıfın neyi temsil ettiği öncelik sıralama algoritması ile belirlenerek düzeltilmesi gereken hata türleri öncelik sırasına konmuştur.

H.T.E.A. için önerilen model aşağıda Şekil 7.1 üzerinde gösterilmektedir. Model iki katmandan oluşmaktadır. Katman 1 giriş değerlerini, Katman 2 ise çıkış değerlerini belirtmektedir.



Şekil 7.1 : H.T.E.A.'nın Bulanık A.R.T. ile modellenmesi

$x_{i,j}$ , modelin giriş değerleridir.

$i$ :  $1 \rightarrow n$  hata türü sayısı

$j$ :  $1 \rightarrow 3$  her bir hata türünün 1 = şiddeti, 2 = olasılığı, 3 = keşfedilebilirliği

Örneğin, birinci katmandaki;  $x_{1,1}$  birinci hatanın şiddetini,  $x_{1,2}$  birinci hatanın ortaya çıkma olasılığını,  $x_{1,3}$  ise birinci hatanın keşfedilebilirliğini temsil etmektedir.

İkinci katmanda  $C_s$ , uygunluk parametresi ölçüsünde birbirlerine benzer özellikler gösteren girişlerin ait olduğu sınıfı göstermektedir.

$s$ :  $1 \rightarrow m$       $m$ : maksimum sınıf sayısı

Örneğin,  $C_1$ : uygunluk parametresi ölçüsünde ortak özellikleri barındıran ilk sınıfı temsil etmektedir.

$C_2$ : uygunluk parametresi ölçüsünde ortak özelliklere sahip olan ikinci sınıfı temsil etmektedir.

Katman 1 ve Katman 2 arasında yer alan  $w_{i,j,s}$  değeri ağırlıkları temsil etmektedir ve birinci katmandaki her bir giriş değerinin ikinci katmanda hangi sınıfa ne ölçüde ait olduğunu belirlemektedir.

Örneğin,  $w_{24,3,2}$ , yirmi dördüncü hata türünü oluşturan keşfedilebilirlik değerinin ikinci sınıftaki ağırlığını temsil etmektedir.

Şekil 6.1. de görüldüğü gibi her bir ağırlık bir okla temsil edilmektedir. Modeldeki ok sayısı; risk öncelik göstergesini oluşturan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirliğin elde edilen sınıf sayısı ile çarpımı kadardır. Yani,

$$\text{Ok sayısı} = j \times s$$

Özetle yöntemde, R.Ö.G. değerleri girişleri oluşturmakta, her bir giriş sisteme Ş, O ve K olarak sunulmakta ve uygunluk parametresi ölçüsünde birbirine benzer olan girişler bu üç giriş değerlerine göre sınıflandırılmaktadırlar.

### 7.1.1. Önerilen metodoloji

H.T.E.A. modelinin çözümünde, ilk katmandan gelen bilgiler ikinci katmandaki sınıflarla eşleştirilmektedir. Eşleşme sağlanamazsa yeni bir sınıf oluşturulmaktadır. Metodolojinin adımları aşağıdaki şekilde geliştirilmiştir:

Önerilen metodoloji 11 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar:

1. Normalizasyon
2. Parametrelerin belirlenmesi
  - Optimum küme sayısının tayini
  - Etkin çözüm sınıfları içerisinde parametre duyarlılık analizinin yapılması
3. H.T.E.A. için geliştirilen Bulanık A.R.T modelinin başlangıç ağırlıklarının tayini
4. Giriş değerlerinin ağa gösterilmesi
5. Seçme fonksiyonu değerinin hesaplanması
6. En büyük seçme fonksiyonu değerinin seçilmesi
7. Eşleşme testinin yapılması
8. Resetleme

9. Ağırlıkların güncellenmesi

10. Tekrarla

11. Sınıfların önceliklendirilmesi

Aşağıda bu adımlar sıra ile açıklanmaktadır:

Adım1- Normalizasyon: Yöntemde öncelikle üç giriş değeri olan şiddet ( $\$$ ), hatanın ortaya çıkma olasılığı (O) ve keşfedilebilirlik (K) değerlerinin her biri denklem 7.1 yardımıyla normalize edilir.

$$NI_{i,j} = \frac{I(i,j) - \min(j)}{\max(j) - \min(j)} \quad (7.1)$$

Burada;

$I_{(i,j)}$ : Girişi oluşturan her bir değer gerçekteki değeri

$Min(j)$ : Girişleri oluşturan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri arasındaki en küçük değer

$Maks(j)$ : Girişleri oluşturan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri arasındaki en büyük değer

$NI_{i,j}$ : Hata türlerinin normalize edilmiş giriş değerleridir. (şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik)

Adım 2- Parametrelerin belirlenmesi: Modelin uygulanması için seçme ( $\alpha$ ), uygunluk ( $\rho$ ) ve öğrenme oranı ( $\beta$ ) parametreleri için başlangıç değerleri tayin edilmelidir. Her hangi bir Bulanık ART probleminde bu parametre aralıkları aşağıdaki gibidir:

- Uygunluk parametresi  $\rho$  ( $0 < \rho < 1$ ) : Aynı sınıfta ne oranda benzer örneklerin bulunacağını tanımlar. İkinci katmanda oluşturulan sınıf sayısından sorumludur. Bu parametre için büyük değer eleman sayısı daha küçük kümeleri, küçük değer ise eleman sayısı büyük kümeleri ifade etmektedir.

$\rho = 0$ , minimum sınıf sayısı (yani tek sınıf)

$\rho = 1$ , ilgili problem için maksimum sınıf sayısı

- Seçme parametresi  $\alpha$  ( $0 < \alpha \leq 1$ ): sınıf seçiminde etkilidir.

- Öğrenme oranı  $\beta$  ( $0 < \beta \leq 1$ ): Sınıflandırma hızını kontrol eder.



$\beta = 1$  olursa, hızlı öğrenme ortaya çıkar.  $\beta$ ' nın 0' a yaklaşması öğrenme oranını azaltır. Eğer giriş verilerinin karmaşık veya sınıfların seçim hızının yüksek olması sınıflama hatasına neden olacaksa öğrenmenin yavaş olması tercih edilir. Öğrenmenin yavaş olması programın çözüm süresini uzatacaktır.

Seçme ( $\alpha$ ), uygunluk ( $\rho$ ) ve öğrenme oranı ( $\beta$ ) parametreleri ilgili aralıklar içinde kullanıcı tarafından tanımlanır. Ancak problem türüne ve bu parametrelerin farklı kombinasyonlarına bağlı olarak elde edilen sınıf sayısı değişkenlik göstermektedir. Bölüm 6' da parametre seçimlerinin problem türüne özgü nitelikte olduğundan bahsedilmiştir. Dolayısıyla H.T.E.A. modeline özgü bu parametrelerin uygun aralıkları bu adımda araştırılmıştır.

Adım 2.1- Optimum küme sayısının tayini: Bunun için öncelikle;

- Yeterli sayıda test verisi temin edilir.
- $\alpha$ : (0,1],  $\beta$ : (0,1] ve  $\rho$ : (0,1) olarak alınır.
- Parametre değerleri olan  $\alpha$ ,  $\rho$  ve  $\beta$  için değişim miktarları belirlenir.
- Her bir test verisi  $\alpha$ ,  $\rho$  ve  $\beta$  dan oluşan parametre kombinasyonlarının tümü için çözülür. Bu çözüm için geliştirilmiş olan bilgisayar programından yardım alınır. Bu şekilde, test verilerinin her biri için ayrı ayrı hangi üçlü kombinasyon kullanıldığında kaç sınıf oluşacağı ve söz konusu sınıfların oluşum sıklıkları elde edilir.
- Her alternatif parametre kombinasyonu için sınıf sayısına tekabül eden çözüm yüzdeleri belirlenir. H.T.E.A. felsefesi gereğince hata türlerinin tek bir sınıfa ayrılmasının bir anlamı olmamaktadır. Bu sebeple tek sınıf veren çözümler hesap dışı bırakılarak geri kalan çözümler içerisinde Pareto kuralına göre her bir test verisi için bütün üçlü kombinasyonların (Seçme ( $\alpha$ ), uygunluk ( $\rho$ ) ve öğrenme oranı ( $\beta$ ) parametreleri için) % 80 sınırını sağlayan sınıf sayıları belirlenir. Böylece bu problem için etkin çözüm sınıfları elde edilmiş olur.

- Ele alınan tüm test verilerine üçlü kombinasyonlar uygulanarak, hem  $\alpha$ ,  $\rho$  ve  $\beta$  parametreleri hakkında yargılara varılmış hem de test verileri için belirlenen uygun sınıf sayıları bulunmuş ve bu sınıf sayılarını sağlayan kombinasyonlar elde edilmiş olacaktır.

Adım 2.2 – Etkin çözüm sınıfları içerisinde parametre duyarlılık analizinin yapılması: Her  $(\beta, \rho)$  kombinasyonu için  $\alpha = (0, 1]$  aralığında seçilen adımlarla değiştirilmek kaydıyla önerilen model çözümlenerek, sınıf sayısı ve hata türü üyeliği değişimi incelenir. Böylece  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\rho$  kombinasyonlarının, çözüme ne kadar etkisi olduğu ve parametrelerin hangi aralıkta yer almasının uygun olacağı saptanır.

Adım 3 – H.T.E.A. için geliştirilen Bulanık A.R.T. modelinin başlangıç ağırlıklarının tayini: Denklem 7.2 de görüldüğü üzere bütün ağırlıkların derecesi başlangıçta birbirine eşit ve 1 olarak ele alınır.

$$w_{i,j,s}(0) = 1 \quad \text{ve} \quad s=1 \quad \forall i,j,m \text{ için} \quad (7.2)$$

Adım 4 – Giriş değerlerinin ağa gösterilmesi: 0 – 1 arası değerlerden meydana gelen giriş vektörü ( $x$ ) ağa gösterilir.

$$x: \quad \forall x_{i,j} \in (0,1] \quad (7.3)$$

Adım 5 – Seçme fonksiyonu değerinin hesaplanması: Seçme fonksiyonu  $T_{i,j,s}$  aşağıda denklem 7.4 ile tanımlanmıştır.

$$T_{i,s}(NI) = \frac{\sum_{j=1}^3 (NI_{i,j} \wedge w_{i,j,s})}{\alpha + \sum_{j=1}^3 w_{i,j,s}} \quad (7.4)$$

Bu ifade uyarınca her  $i, j, s$  için seçme fonksiyonu değerleri hesaplanır.

Burada,  $\wedge$  Bulanık AND (ve) operatörüdür

$$(x \wedge y) = \min(x, y) \quad (7.5)$$

Adım 6 – En büyük seçme fonksiyonu değerinin seçilmesi ( $T^*$ ): Denklem 7.6 yardımıyla hesaplanan seçme fonksiyonu değerlerinden en büyük olanı seçilir.

$$T^* = \max \{T_{i,s} : s = 1, 2, \dots, m\} \quad (7.6)$$

Adım 7 – Eşleşme testi: Eşleşme testi giriş değeri için uygun sınıfı kontrol etmektedir. En büyük seçme fonksiyonu değeri ( $T^*$ ) için eşleşme fonksiyonu ( $M_{i,s}$ ) denklem 7.7 ile hesaplanır.

$$M_{i,s}(T^*) = \frac{\sum_{j=1}^3 (NI_{i,j} \wedge w_{i,j,s})}{\sum_{j=1}^3 NI_{i,j}} \quad \text{eşleşme fonksiyonu} \quad (7.7)$$

Eğer,  $M_{i,s} \geq \rho \Rightarrow T_{i,s}$  testi geçer. Böylece i. hata türü mevcut sınıf  $C_s$ ' e dahil edilir ve Adım 9' a gidilir.

Eğer,  $M_{i,s} < \rho \Rightarrow T_{i,s}$  testi geçemez ve Adım 8' e gidilir.

Adım 8 – Resetleme: Uygunluk testini geçemeyen girişin seçme fonksiyonu değeri – 1' e eşitlenir.

$T_{i,s} = -1$  olarak belirlenir ve Adım 6' ya dönülür. Sonraki en büyük  $T_{i,s}$  değerine bakılır. Böylelikle, tüm  $T_{i,s}$  değerleri için eşleşme testi devam eder.

Eğer,  $T_{i,s}$  değerlerinden hiçbiri testi geçemezse, mevcut giriş için yeni bir sınıf yaratılır. Böylece i. hata türü, yeni sınıf  $C_{s+1}$ ' e ilave edilir. Adım 4' e gidilir ve bir sonraki giriş ile devam edilir.

Adım 9 – Ağırlıkların güncellenmesi: Eşleşen giriş örneği için denklem 7.8' e göre mevcut girişin ağırlığı güncellenir.

$$w_{i,j,s}^{(yeni)} = \beta(NI_{i,j} \wedge w_{i,j,s}^{(eski)}) + (1 - \beta)w_{i,j,s}^{(eski)} \quad (7.8)$$

Adım 10 – Tekrarla: Ağırlık güncellemesi yapıldıktan sonra, algoritma Adım 4’ e giderek bir sonraki girişle devam eder. Eğer bütün veriler,  $s$  farklı sınıfa dahil edilmişse dur.

Böylelikle metodoloji uyarınca, giriş ve seçilen ilk örnek arasındaki benzerlik sınanmış olur. Bütün giriş değerleri için hesaplamalar yapılarak tüm veriler  $s$  adet sınıfa ( $C_s$ ) ayrılmaktadır. Algoritma tüm giriş değerleri için tekrar edilerek H.T.E.A. probleminde hata türleri için sınıflar elde edilir.

Adım 11 – Sınıfların önceliklendirilmesi: H.T.E.A. problemine Bulanık A.R.T. algoritması uygulandığında, algoritma parametre değerleri gereğince hata sebeplerini sınıflara ayırmakta ancak her bir sınıfın neyi temsil ettiğini söylememektedir. Bunun için, hata sebepleri sınıflara ayrıldıktan sonra her bir sınıfın önceliklendirilmesi gerekmektedir. Önceliklendirme, her bir sınıftaki giriş değerlerinin aritmetik ortalaması hesaplanarak gerçekleştirilmektedir. Sınıfların elde edilen öncelik sıralamaları en yüksek değerden düşüğe doğru sıralandırılmaktadır.

Örneğin,  $(C_1)_{ort}$ ; birinci sınıfın aritmetik ortalaması,  $(C_2)_{ort}$ ; ikinci sınıfın aritmetik ortalamasıdır.

Öncelik sırası 1 olan sınıftaki hatalar öncelikli olarak düzeltilmelidir. Bu şekilde, hata türleri yüksekten düşüğe doğru azalan önemde sınıflandırılmaktadır.

Metodolojinin yukarıda yazılan tüm adımlarını gerçekleştirmek için bilgisayar programı oluşturulmuş ve program MATLAB 7.1’ de kodlanmıştır.

## 7.2. Yöntemin Örnek Probleme Uygulanması

Aşağıda, Tablo 7.1. de görülen 30 adet hata türü sebebi girişinin olduğu bir H.T.E.A. örneğine geliştirilen yöntem uygulanmış ve elde edilen sonuçlar, klasik H.T.E.A. uygulaması sonucu bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır.

Tablo 7.1 : H.T.E.A.örnek problem tablosu

Sıra No	Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	1	9	1	1	9
2	2	3	4	9	108
3	3	3	1	9	27
4	4	8	3	7	168
5	5	3	1	9	27
6	6	9	3	7	189
7	7	8	2	5	80
8	8	2	8	3	48
9	9	10	1	1	10
10	10	8	3	5	120
11	11	8	1	5	40
12	12	7	3	5	105
13	13	4	4	3	48
14	14	7	3	5	105
15	15	10	1	1	10
16	16	9	5	6	270
17	17	9	1	1	9
18	18	5	6	6	180
19	19	8	2	5	80
20	20	4	5	6	120
21	21	8	2	5	80
22	22	5	5	5	125
23	23	4	8	3	96
24	24	8	3	5	120
25	25	8	1	5	40
26	26	8	1	10	80
27	27	8	2	5	80
28	28	9	8	7	504
29	29	9	4	9	324
30	30	9	4	9	324

### 7.2.1. Örnek problemin klasik H.T.E.A. ile çözümü

Probleme klasik H.T.E.A. kuralı uygulandığında 3 sınıf elde edilmiştir. Bu sınıflar aşağıda tablolar yardımıyla detaylı olarak belirtilmiştir.

R.Ö.G. > 100 olanlar: mutlaka önlem alınması gereken hata türleridir. Bu sınıf 14 adet hata türünden oluşmakta ve bu hata türleri aşağıda Tablo 7.2. de ayrıntılı olarak belirtilmektedir:

Tablo 7.2 : Risk öncelik göstergesi 100 > olan hata türleri

Sıra No	Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	2	3	4	9	108
2	4	8	3	7	168
3	6	9	3	7	189
4	10	8	3	5	120
5	12	7	3	5	105
6	14	7	3	5	105
7	16	9	5	6	270
8	18	5	6	6	180
9	20	4	5	6	120
10	22	5	5	5	125
11	24	8	3	5	120
12	28	9	8	7	504
13	29	9	4	9	324
14	30	9	4	9	324

40 < R.Ö.G. <100 olanlar: Önlem alınmasında fayda olan hata türleridir. Bu sınıf 8 adet hata türünden oluşmakta ve bu hata türleri, aşağıda Tablo 7.3. de ayrıntılı olarak belirtilmektedir:

Tablo 7.3 : Risk öncelik göstergesi 40 ile 100 arasında olan hata türleri

Sıra No	Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	7	8	2	5	80
2	8	2	8	3	48
3	13	4	4	3	48
4	19	8	2	5	80
5	21	8	2	5	80
6	23	4	8	3	96
7	26	8	1	10	80
8	27	8	2	5	80

R.Ö.G. ≤ 40 olanlar: Önlem almaya gerek olmayan hata türleridir. Bu sınıf 8 adet hata türünden oluşmakta ve bu hata türleri, aşağıda Tablo 7.4. de ayrıntılı olarak belirtilmektedir:

Tablo 7.4 : Risk öncelik göstergesi  $\leq 40$  olan hata türleri

Sıra No	Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	1	9	1	1	9
2	3	3	1	9	27
3	5	3	1	9	27
4	9	10	1	1	10
5	11	8	1	5	40
6	15	10	1	1	10
7	17	9	1	1	9
8	25	8	1	5	40

### 7.2.2. Örnek problemin önerilen bulanık A.R.T. metodolojisi ile çözümü

Adım1 – Normalizasyon: Yöntemde ilk olarak üç giriş değeri olan şiddet ( $\$$ ), hatanın ortaya çıkma olasılığı ( $O$ ) ve keşfedilebilirlik ( $K$ ) değerlerinin her biri normalize edilir.

Adım 2 – Parametrelerin belirlenmesi: Modelin probleme uygulanabilmesi için seçme ( $\alpha$ ), uygunluk ( $\rho$ ) ve öğrenme oranı ( $\beta$ ) parametreleri değerlerini atamak gereklidir. Bu parametreler ilgili aralıklar içinde kullanıcı tarafından tanımlanmakta olup, seçimleri problem türüne özgü niteliktedir. Bu sebeple, test problemleri üzerinde H.T.E.A. çözülrken en uygun parametre kombinasyonlarını bulabilmek için, büyüklükleri (7 x 3) ten (67 x 3) e kadar değişen farklı boyutlarda 10 adet test problemi ele alınmıştır.

Adım 2.1 – Optimum sınıf sayısının tayini: H.T.E.A. problemlerinde kullanılmak üzere en uygun sınıf sayısını tayin etmek için farklı büyüklüklerdeki 10 adet test problemi Tablo 7.5. de görüldüğü gibi ele alınmıştır.

Tablo 7.5 : H.T.E.A.. veri seti

Problem sayısı	Giriş Sayısı	Özellik sayısı	Referans
1	7	3	[2]
2	7	3	[90]
3	8	3	[135]
4	11	3	[136]
5	16	3	[137]
6	16	3	[138]
7	22	3	[4]
8	22	3	[90]
9	26	3	[139]
10	67	3	[90]

Bulanık A.R.T. üzerinde H.T.E.A. 'nın etkin parametre analizinin performansı için parametre düzeyleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu düzeyler aşağıda Tablo 7.6. da gösterilmektedir. Tüm farklı parametre kombinasyonlarını çözmek her bir problem için  $10 \times 10 \times 9 = 900$ ' dür. Bu tüm test problemleri için  $10 \times 900 = 9000$  farklı çözüm demektir.

Tablo 7.6 : Parametre düzeyleri

Parametre	Düzeyler
Seçme parametresi ( $\alpha$ )	0.1, 0.2, .....,1.0
Öğrenme oranı ( $\beta$ )	0.1, 0.2, .....,1.0
Uygunluk parametresi ( $\rho$ )	0.1, 0.2, .....,0.9

Bu çalışmada ilk olarak, test problemlerinde, H.T.E.A. uygulamasının en uygun parametre kombinasyonları belirlenmiştir.

Her bir test problemi,  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $\beta$  parametrelerinin tüm kombinasyonları için denenerek ( $10 \times 10 \times 9 = 900$  kez) çözülmüştür. Oluşan sınıf sayılarının saptanmasıyla 10 test problemine ait elde edilen sınıflar ve her sınıfın elde edilme sıklığı Tablo 7.7. de verilmiştir.



Tablo 7.7 : On test probleminde elde edilen sınıflar, elde edilme sıklıkları ve etkin çözüm sınıfları (mavi renk)

T.P. #	Elde edilen sınıf #	Her bir sınıfın frekans sıklığı (%)																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	min1-maks5	30	20	32.2	13.3	4.4															
2	min1-maks5	27.7	27.7	20.1	21	3.3															
3	min1-maks5	26.6	38.8	26.6	5.5	2.2															
4	min1-maks7	24.4	26.7	27.6	10	4.4	4.4	2.2													
5	min1-maks8	14.4	18	13.6	21.6	11.1	6.6	10	4.4												
6	min1-maks7	27.7	36.6	21.1	6.6	3.3	3.3	1.1													
7	min1-maks7	15.5	28.4	13.1	19.5	10	5.5	7.7													
8	min1-maks7	18.8	40.4	14.4	11.7	4.4	7.7	2.2													
9	min1-maks7	13.3	46.6	14.4	16.6	3.3	3.3	2.2													
10	min1-maks20	2.2	12.1	13	13.2	7	5.2	8.8	4.5	4.3	2.7	3.2	4.6	6.7	3.3	2	.2	2.3	.7	1.1	2.2

Burada yapılmaya çalışılan Bulanık A.R.T. yaklaşımıyla benzer hataları sınıflandırmaktır. Hataları tek bir sınıfa ayırma işleminin bir anlamı bulunmadığına göre Pareto Kuralı uyarınca geri kalan tüm kombinasyonların minimum %80' ini içeren sınıf sayıları “etkin çözüm sınıfları” olarak belirlenmiştir.

Örneğin, test problemi 1 için bunlar, 2 – 3 ve 4' tür. Tüm test problemleri için etkin çözüm sınıfları Tablo 7.8. de gösterilmiştir.

Tablo 7.8 : Etkin çözümler için  $\beta$ - $\rho$  kombinasyonu ve dağılımları

Test Problemi #	Problem Büyüklüğü	Etkin Çözüm Sınıfları
1	7 x 3	2-3-4
2	7 x 3	2-3-4
3	8 x 3	2-3
4	11 x 3	2-3-4
5	16 x 3	2-3-4-5-6
6	16 x 3	2-3
7	12 x 3	2-3-4-5
8	22 x 3	2-3-4
9	26 x 3	2-3-4
10	67 x 3	2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12

Adım 2.2 – Etkin çözüm sınıflarının oluşumunda ve sınıf üyeliklerinin belirlenmesinde  $\beta$ ,  $\rho$ ,  $\alpha$  parametrelerinin etkisinin analizi: Tablo 7.9. da, test problemi 1' in çözümünden  $\beta$ ,  $\rho$ ' nin ele alınan kombinasyonları için elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Gözlerdeki mavi renkli ilk rakam, seçilen ( $\beta$ ,  $\rho$ ) kombinasyonu için elde edilen etkin çözüm sınıf sayısını vermektedir. İkinci rakam (kırmızı renkli) ise  $\alpha$ ' nın değişiminin sınıf üyeliklerine etkisini göstermektedir. Örneğin, bu değer 1 olması demek,  $\beta - \rho$  kombinasyonunda  $\alpha$  değerinin değişmesinin, hata türlerinin sınıf üyelikleri üzerinde bir değişikliğe neden olmadığı anlamına gelmektedir. Bu değer 5 olması demek ise,  $\beta - \rho$  kombinasyonunda  $\alpha$  değerinin değişmesi, o örnekteki hata türlerinin ait oldukları sınıf yerine başka bir sınıf üyeliğine geçtikleri anlamına gelmektedir. Taralı gözler ise etkin çözüm sınıflarının dışındaki, kalan kombinasyonları işaret etmektedir.

Test problemlerine ilişkin tüm analizler Tablo 7.9 – 7.18 de görülmektedir.

Tablo 7.9 : Test Problemi 1 için etkileşim düzeyleri (7 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1								2,1	4,1
0.2						2,1	2,1	3,1	4,1
0.3					2,1	2,1	3,1	3,1	4,1
0.4				2,1	2,1	3,1	3,1	3,1	4,1
0.5				2,1	3,1	3,1	3,1	3,1	4,1
0.6			2,2	2,1	3,1	3,1	3,1	3,1	4,1
0.7			2,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	
0.8		2,1	2,1	3,1	3,1	3,1	3,1	4,1	
0.9	2,1	2,1	3,1	3,1	3,1	3,1	4,1	4,1	
1.0	2,1	2,1	3,1	3,1	3,1	4,1	4,1	4,1	

Tablo 7.10 : Test Problemi 2 için etkileşim düzeyleri. (7 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1									3,1
0.2							2,1	2,1	3,1
0.3					2,1	2,2	2,1	3,1	3,1
0.4				2,1	2,2	2,1	2,1	3,1	4,1
0.5			2,1	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	4,1
0.6		2,1	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	4,1	4,1
0.7		2,1	2,2	2,1	3,1	3,1	4,1	4,1	4,1
0.8	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	4,1	4,1	4,1	4,1
0.9	2,1	3,1	3,1	3,1	4,1	4,1	4,1	4,1	
1.0	2,1	3,1	3,1	3,1	4,1	4,1	4,1		

Tablo 7.11 : Test Problemi 3 için etkileşim düzeyleri. (8 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1								2,1	2,1
0.2							2,1	2,1	
0.3					2,1	2,1	2,1	3,1	3,1
0.4				2,2	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1
0.5			2,1	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	3,1
0.6		2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	
0.7		2,1	2,1	2,1	2,1	3,2	3,1	3,1	
0.8	2,1	2,1	2,1	2,2	2,1	3,2	3,1	3,2	
0.9	2,1	2,1	2,1	2,2	3,1	3,1	3,1	3,2	
1.0	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	3,1	3,1		

Tablo 7.12 : Test Problemi 4 için etkileşim düzeyleri (11 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1								2,1	3,1
0.2						2,1	2,1	2,1	3,1
0.3					2,1	2,1	2,1	2,1	3,1
0.4				2,1	2,1	2,2	2,1	3,1	3,2
0.5			2,1	2,1	2,1	2,2	3,1	3,1	
0.6		2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	3,1	3,1	
0.7	2,3	2,1	2,1	3,1	3,1	3,2	3,1	4,1	4,1
0.8	2,1	2,1	3,1	3,1	3,3	3,2	4,1	4,1	
0.9	2,1	3,1	3,2	3,1	3,2	4,1			
1.0	2,1	4,3	4,1	4,1	4,1				

Tablo 7.13 : Test Problemi 5 için etkileşim düzeyleri (16 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1						2,1	2,1	4,1	
0.2				2,1	3,1	3,1	4,1	5,1	6,1
0.3			2,1	2,1	3,1	3,1	4,1	5,1	6,1
0.4		2,1	2,1	2,1	4,1	4,1	4,1	5,1	
0.5		2,1	2,1	3,1	4,1	4,1	4,1	5,1	
0.6		2,1	3,1	3,1	3,2	4,1	5,1	6,1	
0.7	2,1	2,1	3,1	3,2	3,2	4,1	6,1		
0.8	2,1	2,2 3,2	3,1 4,1	4,1	4,1	5,1	6,1		
0.9	2,2	4,1	4,1	4,1	5,1	5,1	6,1		
1.0	2,2	4,1	4,1	4,1	5,1	5,1			

Tablo 7.14 : Test Problemi 6 için etkileşim düzeyleri (16 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1									2,1
0.2							3,1	2,1	2,1
0.3					2,1	2,1	2,1	2,1	3,1
0.4				2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	
0.5			2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	3,2	
0.6		2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	
0.7		2,1	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1		
0.8	2,1	2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	3,1		
0.9	2,1	2,1	3,1	3,2	3,2	3,2			
1.0	2,1	3,1	3,1	3,2	3,1	3,2			

Tablo 7.15 : Test Problemi 7 için etkileşim düzeyleri (22 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1							3,1	4,1	5,1
0.2					3,1	3,1	3,1	4,1	5,1
0.3			2,1	2,1	2,1	3,1	4,1	4,1	5,1
0.4		2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	4,1	4,1	
0.5		2,1	2,1	2,1	3,1	3,1	4,1	5,1	
0.6	2,1	2,1	2,1	2,2	3,1	4,1	5,1		
0.7	2,1	2,1	2,1	2,2	4,2	4,1	5,1		
0.8	2,2	2,1	2,1	3,2	4,2	4,2	5,1		
0.9	2,2	2,1	2,1	3,2	4,2	4,1	5,1		
1.0	2,3	2,3	2,2 3,3	4,2	4,2	4,1	5,1		

Tablo 7.16 : Test Problemi 8 için etkileşim düzeyleri (22 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1								2,1	4,1
0.2					2,1	2,2	2,1	4,1	
0.3			2,1	2,1	2,3	2,3	3,1	4,1	
0.4		2,1	2,1	2,2	2,4	2,2	3,1	4,1	
0.5		2,1	2,1	2,5	2,3	2,2	3,2	4,1	
0.6		2,1	2,1	2,5	2,2	3,1	3,2	4,1	
0.7		2,1	2,1	2,4	2,1	3,1	3,3		
0.8	2,2	2,1	2,1	2,4	3,1	3,2	4,1		
0.9	2,2	2,1	2,1	2,3	3,1	3,2	4,1		
1.0	2,1	2,1	2,1	2,4	3,1 4,1	4,1	4,1		

Tablo 7.17 : Test Problemi 9 için etkileşim düzeyleri (26 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1								2,1	3,1
0.2					2,1	2,1	3,2	3,1	4,1
0.3		2,1	2,1	2,1	2,3	3,1	3,2	4,1	
0.4	2,1	2,1	2,1	2,4	2,2	3,1	3,2	4,1	
0.5	2,1	2,1	2,1	2,4	2,2	3,1	4,2	4,1	
0.6	2,1	2,1	2,1	2,4	2,2	3,1	4,2	4,1	
0.7	2,1	2,1	2,1	2,4	2,2	3,1	4,2	4,1	
0.8	2,1	2,1	2,1	2,4	2,2	3,1	4,2	4,1	
0.9	2,1	2,1	2,1	2,4	2,2	3,1	4,2	4,1	
1.0	2,1	2,1	2,1	2,4	2,2	3,1	4,2	4,1	

Tablo 7.18 : Test Problemi 10 için etkileşim düzeyleri (67 x 3)

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1		2,1	2,1	2,4	3,3	3,4	5,5	10,4 7,5	12,4
0.2		2,1	2,6	3,7	4,7	5,6	6,6	8,8	
0.3	2,1	2,9	3,6	3,3 4,2	4,6 5,3	6,6	7,6	9,7	
0.4	2,1	2,7	3,5	4,3 5,1	4,4 5,4	7,7	8,7	9,7	
0.5	2,5	2,6 3,3	3,4 4,4	4,2 5,5	6,6 7,1	7,7	10,8	11,6	
0.6	2,2 3,6	3,7 2,1	4,5 5,1	5,6	7,6	8,3 9,5	12,6		
0.7	3,5	3,2 4,5	4,4	6,7	8,7	10,8	12,7		
0.8	3,4 4,1	3,2 4,7	4,5	6,5 7,2	7,6	11,7 12,1			
0.9	3,3 4,2	3,6 5,1	4,1 5,1	7,7	8,3 9,5	12,8	12,6		
1.0	4,5	3,6 4,4	5,5	7,8	8,3 9,6	11,8			

Duyarlılık analizinden elde edilen sonuçlar:

- $\rho$  arttıkça sınıf sayısı artar.
- $\beta$  arttıkça sınıf sayısı artar.
- Bir çok problemde verilerin sınıflandırılması  $\beta$  ve  $\rho$  parametrelerinin etkileşimine bağlıdır.
- Küçük boyutlu problemlerde,  $\alpha$  parametresinin çözüme bir etkisi bulunmamaktadır. Ama büyük boyutlu problemlerde, sınıf sayısında ve sınıf üyeliklerinde  $\alpha$  düzensiz bir hal almaktadır. Bu durumu iki örnekle açıklamak gerekirse; test problemi 1 ele alındığında,  $\beta = 0,8$  ve  $\rho = 0,4$  değerlerine karşılık gelen gözde 3,1 sayısı görülmektedir. Yani,  $\beta = 0,8$  ve  $\rho = 0,4$  olduğunda,  $\alpha$ 'nın (0, 1] arasındaki 10 kombinasyonu tek tek incelendiğinde; tüm kombinasyonlarda hata türleri 3 sınıfa ayrılmıştır.  $\alpha$ 'nın bu aralıkta değişmesi, sınıf sayısı ve hata türlerinin sınıflara olan üyelikleri üzerinde hiçbir değişiklik yaratmamıştır. Ancak test problemi 10 ele alındığında,  $\beta = 0,8$  ve  $\rho = 0,4$  değerlerine karşılık gelen gözde 6,5 ve 7,2 sayıları görülmektedir. Buradan anlaşılması gereken  $\beta = 0,8$  ve  $\rho = 0,4$  olduğunda,  $\alpha$ 'nın (0, 1] arasındaki 10 kombinasyonu tek tek incelendiğinde; 10

kombinasyonun bir kısmında 6, geri kalanında ise 7 sınıf elde edilmiştir.  $\alpha$ 'nın bu aralıkta değişmesi hem sınıf sayısı hem de hata türlerinin sınıflara olan üyelikleri üzerinde değişikliğe yol açmıştır. (Eğer giriş sayısı 30 dan küçük veya eşitse, H.T.E.A. problemi küçük boyutlu, aksi halde büyük boyutludur.)

- Problem boyutu arttıkça, sınıf sayılarında değişiklik gözlenir.

Her  $\beta$ - $\rho$  kombinasyonu için kaç tane test probleminde etkin çözüm sınıfına ulaşıldığı saptanarak Tablo 7.19 oluşturulmuştur. Örneğin,  $\rho=0.3$  ve  $\beta=0.6$  iken tabloda okunan 10 sayısı, bütün test problemlerinde (10 test) sağlandığını göstermektedir.

Tablo 7.19 : H.T.E.A. veri seti için belirlenen uygun sınıf sayıları

$\beta$	$\rho$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1		1	1	1		2	3	8	8
0.2		1	1	2	5	7	10	10	7
0.3	1	2	5	5	10	10	10	10	7
0.4	2	5	5	10	10	10	10	10	4
0.5	2	5	9	10	10	10	10	10	3
0.6	3	9	10	10	10	10	10	8	2
0.7	5	9	10	10	10	10	10	5	2
0.8	9	10	10	10	10	10	9	5	1
0.9	10	10	10	10	10	9	7	4	
1.0	10	10	10	10	10	9	6	2	

Bütün test problemlerinde etkin çözüm sınıfı üreten  $\beta$ - $\rho$  kombinasyonlarını sağlayan alanlar Tablo 7.19. da mavi renk ile işaretlenmiştir. Mavi alan, H.T.E.A. probleminin Bulanık A.R.T. ile ele alınması için uygun çözüm alanıdır. Bu tabloda işaretlenen sonuçlara göre, örneğin,  $\beta=0.5$  için  $\rho$  ( 0.4 ila 0.8) arasında seçilmesi H.T.E.A. problemleri için uygundur.

Tablo 7.19. göz önünde bulundurularak, H.T.E.A. problemi için parametre değerleri  $\rho = 0.6$ ,  $\beta = 0.7$ ,  $\alpha = 0.9$  olarak seçilmiştir.

Adım 3 – H.T.E.A. için geliştirilen Bulanık A.R.T. modelinin başlangıç ağırlıklarının tayini: Bütün ağırlıkların derecesi başlangıçta birbirine eşit ve 1 olarak ele alınmıştır.

Adım 4 – Giriş değerlerinin ağa gösterilmesi: Giriş vektörü ( $x$ ) ağa gösterilmiştir.

Adım 5 – Seçme fonksiyonu değerinin uygulanması: Her bir sınıf için, seçme fonksiyonu değeri hesaplanmıştır.

Adım 6 – En büyük seçme fonksiyonu değerinin seçilmesi: Hesaplanan seçme fonksiyonu değerlerinden en büyük olanı ele alınmıştır.

Adım 7 – Eşleşme testinin yapılması: En büyük seçme fonksiyonu değeri eşleşme testine tabi tutulmuştur. Eğer örnek eşleşme testini geçmişse, giriş örneğinin bulunduğu sınıfa dahil edilip Adım 4' e dahil edilmiştir. Eğer örnek testi geçememiş ise Adım 8' e gidilmiştir.

Adım 8 – Resetleme: Testi geçememiş olan girişin seçme fonksiyonuna  $-1$  değeri verilmiş ve Adım 6' ya dönmüştür. Sonraki en büyük seçme fonksiyonu değerine bakılmıştır, değerlerden biri testi geçene kadar eşleşme testine devam edilmiştir. Hiçbir örnek testi geçememişse, mevcut giriş için yeni bir sınıf yaratılmıştır. Bunun için Adım 4' e gidilir ve bir sonraki giriş için devam edilir.

Adım 9 – Ağırlıkların güncellenmesi: Eşleşen giriş örneği için ağırlık güncellemesi yapılmıştır.

Adım 10 – Tekrarla: Ağırlık güncellemesi yapıldıktan sonra, algoritma Adım 4' e giderek bir sonraki girişle devam etmiştir. Algoritma tüm giriş değerleri için tekrar edilmiş böylelikle H.T.E.A. probleminde hata türleri için sınıflar elde edilmiştir.

Adım 11 – Sınıfların önceliklendirilmesi: Hata sebepleri sınıflara ayrıldıktan sonra her bir sınıfın önceliklendirilmesi yapılmıştır. Bu şekilde, yüksekte düşüğe doğru azalan önemde hata türleri sınıflandırılmış ve dört adet sınıf elde edilmiştir. Elde edilen bu sınıflar aritmetik ortalamalarına göre etiketlenmiştir.

Uygulanan metodoloji sonucu elde edilen sınıflar aşağıda Tablo 7.20 – 7.23 de görülmektedir. Bunlardan Öncelik Sırası 1 sınıfı, acilen önlem alınması gereken hata türlerinin yer aldığı sınıfı temsil etmekte olup 7 adet hata türünden oluşmaktadır ve Tablo 7.20 de gösterilmiştir. Sınıfın aritmetik ortalaması ise 6,857' dir.



Tablo 7.20 : Öncelik sırası 1 sınıfı

Sıra No	Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	R.Ö.G.
1	4	8	3	7	168
2	6	9	3	7	189
3	16	9	5	6	270
4	26	8	1	10	80
5	28	9	8	7	504
6	29	9	4	9	324
7	30	9	4	9	324

Öncelik Sırası 2 sınıfı, önlem alınmasında fayda olan hata türlerinin yer aldığı sınıfı temsil etmekte olup, 6 adet hata türünden meydana gelmektedir ve Tablo 7.21 de gösterilmiştir. Sınıfın aritmetik ortalaması ise 5,167' dir.

Tablo 7.21 : Öncelik sırası 2 sınıfı

Sıra No	Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	R.Ö.G.
1	2	3	4	9	108
2	10	8	3	5	120
3	12	7	3	5	105
4	14	7	3	5	105
5	20	4	5	6	120
6	24	8	3	5	120

Öncelik Sırası 3 sınıfı, önlem almaya gerek olmayan hata türlerinin yer aldığı sınıfı temsil etmekte olup, 5 adet hata türünden meydana gelmektedir ve Tablo 7.22. de gösterilmiştir. Sınıfın aritmetik ortalaması ise 4,73' tür.

Tablo 7.22 : Öncelik sırası 3 sınıfı

Sıra No	Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	R.Ö.G.
1	8	2	8	3	48
2	13	4	4	3	48
3	18	5	6	6	180
4	22	5	5	5	125
5	23	4	8	3	96

Öncelik Sırası 4 sınıfı, önemsiz olan hata türlerinin yer aldığı sınıfı temsil etmekte olup, 12 adet hata türünden meydana gelmektedir ve Tablo 7.23 de gösterilmiştir. Sınıfın aritmetik ortalaması ise 4,5' tur.

Tablo 7.23 : Öncelik sırası 4 sınıfı

Sıra No	Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	R.Ö.G.
1	1	9	1	1	9
2	3	3	1	9	27
3	5	3	1	9	27
4	7	8	2	5	80
5	9	10	1	1	10
6	11	8	1	5	40
7	15	10	1	1	10
8	17	9	1	1	9
9	19	8	2	5	80
10	21	8	2	5	80
11	25	8	1	5	40
12	27	8	2	5	80

Örnek problem Bulanık H.T.E.A.. metodolojisi ile çözüldüğünde öncelik sırası 1 sınıfı yani acilen önlem alınması gereken hata türleri girişlerinin olduğu Tablo 7.20 elde edilmiştir. Bu sınıfa aynı algoritma uygunluk parametresi değeri bu kez 0.1 arttırılarak tekrardan uygulandığında aşağıda Tablo 7.24 elde edilmiştir. Bu tablodan anlaşılacağı gibi öncelik sırası 1 sınıfı için, 1 numaralı sınıf numarasıyla temsil edilen hata türleri en önce olmak üzere iyileştirme faaliyetlerine geçilmelidir.

Tablo 7.24 : öncelik sırası 1 sınıfının kendi içinde sınıflandırması

Sıra No	Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	R.Ö.G.	Bulanık H.T.E.A.. Sınıf No:
1	4	8	3	7	168	2
2	6	9	3	7	189	2
3	16	9	5	6	270	2
4	26	8	1	10	80	3
5	28	9	8	7	504	1
6	29	9	4	9	324	1
7	30	9	4	9	324	1

### 7.3. Örnek Problem Üzerinde Klasik H.T.E.A. ve Önerilen Yöntemin Karşılaştırılması

Örnek problem hem klasik H.T.E.A. yöntemi ile hem de Bulanık A.R.T. Algoritması kullanılarak çözülmüş elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 7.25' te birbirleri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir:

Tablo 7.25 : Klasik H.T.E.A. ile Geliştirilen metodolojinin karşılaştırılması

Hata Türü Sebepleri	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG	Klasik H.T.E.A. Grup No.	Bulanık A.R.T. Grup No.
1	9	1	1	9	3	4
17	9	1	1	9	3	4
9	10	1	1	10	3	4
15	10	1	1	10	3	4
3	3	1	9	27	3	4
5	3	1	9	27	3	4
11	8	1	5	40	3	4
25	8	1	5	40	3	4
8	2	8	3	48	2	3
13	4	4	3	48	2	3
7	8	2	5	80	2	4
19	8	2	5	80	2	4
21	8	2	5	80	2	4
26	8	1	10	80	2	1
27	8	2	5	80	2	4
23	4	8	3	96	2	3
12	7	3	5	105	1	2
14	7	3	5	105	1	2
2	3	4	9	108	1	2
10	8	3	5	120	1	2
20	4	5	6	120	1	2
24	8	3	5	120	1	2
22	5	5	5	125	1	3
4	8	3	7	168	1	1
18	5	6	6	180	1	3
6	9	3	7	189	1	1
16	9	5	6	270	1	1
29	9	4	9	324	1	1
30	9	4	9	324	1	1
28	9	8	7	504	1	1

### 7.3.1. Klasik H.T.E.A. bulguları

Toplam 30 hata türünden 8 adedinin R.Ö.G. değeri 40 ve altında olduğundan önlem alma gereği duyulmamaktadır.

H.T.E.A. probleminde ele alınan hata türlerinden 8 adedi, R.Ö.G. değeri 40 ile 100 arasında yer almaktadır. Bu hatalar önlem alınmasında fayda olan hata türleridir. Bölüm başında belirtilmiş olan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri sırasıyla (8 x 1 x 10) olan hata türü bu sınıfta yer almaktadır.

Ele alınan hata türlerinden 14 adedi, R.Ö.G. değeri 100' ün üstünde yer almaktadır ve bunlar mutlaka önlem alınması gereken hata türleridir. Bölüm başlangıcında H.T.E.A.' nın Bulanık A.R.T. algoritması ile karşılaştırılmasında göz önünde bulundurulmuş şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri sırasıyla (5 x 5 x 5) olan hata türü bu sınıfta yer almaktadır.

R.Ö.G. değeri 100' ün üstünde olan hata türlerinin bulunduğu bu sınıf, kesinlikle önlem alınması gereken hata türlerinden oluşmuş olduğundan, sınıfta 14 adet hata türü bulunduğu göz önüne alındığında, bu durumun zaman kaybı ve maliyete neden olacağı açıkça görülmektedir.

### **7.3.2. Bulanık A.R.T. bulguları**

$\rho = 0.6$  &  $\beta = 0.7$  &  $\alpha = 0.9$  alınarak program çalıştırılmış ve bunun sonucu olarak dört adet sınıf elde edilmiştir. Elde edilen bu sınıflar etiketlenmiştir. Bu sınıfların isimleri:

Öncelik sırası 1 sınıfı: Acilen Önlem Alınmalı

Öncelik sırası 2 sınıfı: Önlem alınmasında fayda var

Öncelik sırası 3 sınıfı: Önlem almaya gerek olmayan

Öncelik sırası 4 sınıfı: Önemsiz

Program çıktısı sonucu olarak öncelik sırası 1 sınıfında yer alan 7 adet hata türünün öncelikli olarak düzeltilmesi gerektiğine karar verilmiştir.

Toplam 30 hata türünden 7 adedi öncelik sırası 1 sınıfında yani acilen önlem alınması gereken sınıfta yer almaktadır. Bu sınıfın aritmetik ortalaması 6,857' dir. Bölüm başlangıcında H.T.E.A..' nın Bulanık A.R.T. algoritması ile karşılaştırılmasında göz önünde bulundurulmuş şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri (8 x 1 x 10) olan 26 numaralı hata türü bu sınıfta yer almaktadır. Probleme klasik H.T.E.A.. yöntemi uygulandığında, 26 numaralı hata türü sebebinin ikinci öncelikli sınıfta yer aldığı hatırlatılmalıdır.

H.T.E.A.. probleminde ele alınan hata türlerinden 6 adedi öncelik sırası 2 sınıfında yani önlem alınmasında fayda olan sınıfta yer almaktadır. Bu sınıfın aritmetik ortalaması 5,167' dir.

Ele alınan hata türlerinden 5 adedi öncelik sırası 3 sınıfında yani önlem almaya gerek olmayan sınıfta yer almaktadır. Bu sınıfın aritmetik ortalaması 4,73' tür. Bölüm başında belirtilmiş olan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri sırasıyla (5 x 5 x 5) olan hata türü bu sınıfta yer almaktadır. Bu değer, klasik H.T.E.A..' da birinci öncelikli sınıfta bulunurken, Bulanık A.R.T. H.T.E.A..' da öncelik sırası 3 sınıfında yer almaktadır.

Ele alınan hata türlerinden 12 adedi öncelik sırası 4 sınıfında yani önemsiz sınıfta yer almaktadır. Bu sınıfın aritmetik ortalaması 4,50' dir.

#### **7.4. Önerilen Yöntemin Klasik H.T.E.A.. Yaklaşımına Katkıları**

Bu çalışmanın yapılmasına karar verilmesinin temel sebebi, bölüm 3.8. de detaylı bir şekilde bahsedilen klasik H.T.E.A.. yöntemine yöneltilen eleştirilere çözüm getirebilmektir.

Yukarıda, örnek problemin hem Klasik H.T.E.A.. hem de Bulanık A.R.T. H.T.E.A.. yöntemiyle çözülmesiyle, klasik yöntemin zayıf yönleri göze çarpmaktadır. Aşağıda örnekler halinde klasik yöntemin zayıf kalan yönlerine bu çalışmada uygulanan Bulanık A.R.T. Algoritmasının yaptığı katkılar belirtilmektedir:

1. Özellikle puanlama ile ilgili olarak yapılan bir çok kabul H.T.E.A.. yönteminin zayıf yönlerinden biridir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında önceliklendirme kısmı Bulanık A.R.T. algoritması kullanılarak daha matematik tabanlı bir karar verme yöntemi haline dönüştürülmüştür.

2. Klasik H.T.E.A. yönteminde, belirlenen eşik değer üzerinde kalan tüm hata türü sebepleri için düzeltici önlemler saptanmaktadır. Çalışmaya Bulanık A.R.T. algoritması uygulanarak hata sebepleri benzerliklerine göre sınıflara ayrılmakta daha

sonra öncelik sırası algoritması kullanılarak elde edilen sınıflar önemliden önemsiz doğru sıraya sokulmakta, böylelikle öncelikli olarak düzeltilmesi gereken hata sınıfı belirlenmektedir. Bu şekilde düzeltilmesi gereken hata sayısında önemli ölçüde bir azalma göze çarpmaktadır. Yukarıda Tablo 7.25' te ele alınan klasik H.T.E.A. ile geliştirilen metodolojinin karşılaştırıldığı tabloda bu durum açıkça görülmektedir. Özetlenecek olursa, problem klasik H.T.E.A. yöntemi ile çözüldüğünde, mutlaka düzeltici önlem alınması gereken hata türü sayısı 14 olarak elde edilirken, Bulanık A.R.T. algoritması kullanılarak çözüldüğünde öncelikli olarak düzeltilmesi gereken hata türü sayısının 7 olduğu görülmektedir.

3. Klasik H.T.E.A. yönteminde R.Ö.G. değerini oluşturan üç risk faktörü (şiddet, keşfedilebilirlik ve olasılık) ayrı ayrı ölçülüp, birbirleri ile çarpılmak suretiyle tek bir değer üzerinden (R.Ö.G.) değerlendirilmektedir. Bu durum ortaya iki farklı sakınca çıkarmaktadır;

Bu sakıncalardan ilki; R.Ö.G. değerini oluşturan bazı şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik risk faktörleri, diğer kombinasyonlardan daha düşük olmasına rağmen daha tehlikeli olabilmektedir.

İkinci sakınca ise; iyileştirme çalışmasının yapılacağı hata türü sebebinin, R.Ö.G. değeri göz önünde bulundurularak belirlenmesi, üç risk faktörü değerinin ayrı ayrı kaybına sebep olmaktadır.

Bulanık A.R.T. metodunda ise, R.Ö.G. değerini oluşturan, şiddet (Ş), keşfedilebilirlik (K) ve olasılık (O) değerleri, her bir giriş için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Böylelikle R.Ö.G. değerleri birbirine eşit olduğu halde farklı şiddet, keşfedilebilirlik ve olasılık değerlerine sahip H.T.E.A. değerleri 3 risk faktörünün çarpımından oluşan R.Ö.G. sonucuna göre değil, onu oluşturan 3 ayrı risk faktörünün değerleri tek tek göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılmaktadır.

Bu durum aşağıda Tablo 7.26' da verilen örnek problem 1 üzerinde detaylı olarak açıklanmaktadır.

Tablo 7.26 : Örnek problem 1

Hata türü numarası	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	10	1	8	80
2	3	8	7	168
3	8	6	4	192
4	4	7	6	168
5	7	7	3	147
6	8	4	4	128
7	9	3	3	81
8	5	4	7	140
9	8	2	5	80
10	5	7	3	105
11	4	8	3	96
12	3	6	6	108
13	5	5	5	125
14	7	5	2	70
15	3	7	3	63

Problem hem klasik H.T.E.A. yöntemi ile hem de Bulanık A.R.T. algoritması (parametre değerleri 0,6 – 0,4 – 1,0) kullanılarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki Tablo 7.27’ de özet karşılaştırma tablosu olarak sunulmuştur.

Tablo 7.27 : Özet karşılaştırma tablosu

Hata Türü numarası	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG	Klasik FMEA	Bulanık ART
1	10	1	8	80	2	1
2	3	8	7	168	1	1
3	8	6	4	192	1	1
4	5	7	3	105	1	2
5	4	7	6	168	1	1
6	7	7	3	147	1	1
7	8	4	4	128	1	1
8	9	3	3	81	2	1
9	3	6	6	108	1	2
10	5	4	7	140	1	1
11	8	2	5	80	2	1
12	3	8	3	72	2	2
13	3	7	3	63	2	2
14	5	5	5	125	1	2
15	7	5	2	70	2	2

Yukarıdaki özet tablodan da görüldüğü üzere klasik H.T.E.A. yönteminde, istatistiksel güven seviyesi % 90 kabul edilerek eşik değer 100 puan olarak tayin

edilmiştir. Yani R.Ö.G. değeri 100' ün üzerinde olan tüm hata türleri için önlem alma çalışması yapılmalıdır.

Bulanık A.R.T. yönteminde, eşik değer kavramı yoktur. Onun yerine sınıfların uygunluk değeri vardır. Hata türü hangi sınıfın uygunluk değerini yakalarsa o sınıfa ait olmaktadır. Yöntem sayesinde risk faktörleri ayrı ayrı değerlendirildiğinden dolayı, faktörlerde her hangi bir değer kaybına rastlanmamaktadır.

Örneğin; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerlerinin her biri 5 olan bir sistemin RÖG değeri, 5 x 5 x 5 olarak 125' e eşit olduğundan klasik H.T.E.A. yöntemine göre düzeltici önlemler alınması gerektiğine karar verilirken; Bulanık A.R.T. yönteminde bu hata türü ikinci sınıfta yer almaktadır.

Şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri sırasıyla 10, 1 ve 8 olan sistemin R.Ö.G. değeri 80' e eşit olduğundan klasik H.T.E.A. yöntemine göre düzeltici önlemler alınmasına gerek olmamaktadır. Şiddet (Ş) ile müşteriye yansıyan olası hata sonuçlarının düzeyi değerlendirilir. Hata şiddeti etkiye karşılık gelir ve aralarında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Hata şiddeti, hatanın müşteri üzerinde etkisinin önem derecesidir. Keşfedilebilirlik (K) ise, ortaya çıktığı varsayılan hata nedeninin yada şeklinin müşteriye ulaşabilme olasılığı olarak tanımlanır. Durum böyle olduğu halde, şiddet ile keşfedilebilirlik değerlerinin her biri çok yüksek düzeyde ve önlem alınması gerekmesine rağmen üç risk faktörünün çarpımı sonucu elde edilen R.Ö.G. değeri 80 olduğu için hatanın önceliklendirilmesi göz ardı edilmektedir. Bulanık A.R.T. yönteminde ise, bu hata türü ilk sınıfta yani düzeltilmesi gereken sınıfta yer almaktadır.

Burada sorulması gereken asıl soru özet olarak, iki hata türünü oluşturan; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik risk faktörleri sırasıyla 10, 1, 8 (R.Ö.G. = 80) ve 5, 5, 5 (R.Ö.G. = 125) olduğu takdirde hangi hata türü öncelikli olarak iyileştirilmelidir?

Son olarak, yukarıda özet tabloda görüleceği üzere klasik H.T.E.A. yöntemi uygulandığında; 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 14 numaralı hata türleri, Bulanık A.R.T.



yöntemi uygulandığında ise; 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11 numaralı hata türleri için düzeltici önlemler alınması gerektiği görülmektedir.

4. Klasik H.T.E.A. yönteminde, olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik puanlarının birbirinden farklı olduğu bazı durumlarda, bu risk faktörlerinin çarpımı sonucu elde edilen R.Ö.G. değeri kimi zaman aynı olabilmektedir. Burada değerlendirme R.Ö.G. sonucuna göre yapıldığı için bu değerler birbirinden farklı olduğu halde, birbirinin aynısıymış gibi işlem görmektedirler. Ancak her iki olayın risk anlamları aynı olmamaktadır. Bu durum, zaman veya kaynak israfına veya bazı hallerde önemsenmeyen yüksek riske neden olabilmektedir. Bu durumu daha iyi açıklamak için tablo 7.28' de örnek problem 2 ele alınmıştır.

Tablo 7.28 : Örnek problem 2

Hata Türü numarası	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	9	8	2	144
2	6	3	8	144
3	4	4	9	144
4	6	6	4	144
5	2	6	10	120
6	4	3	10	120
7	8	3	5	120
8	4	5	6	120

Yukarıda tablo 7.27 de ele alınan örnek problem, iki R.Ö.G. örneğinden meydana gelmektedir. Burada, R.Ö.G. = 144 ve R.Ö.G. = 120 olacak şekilde farklı kombinasyonlarda olan ancak aynı R.Ö.G. değerini sağlayan risk faktörleri ele alınmıştır. Bu örnek hem klasik H.T.E.A., hem de Bulanık ART H.T.E.A. yöntemleriyle çözüldüğünde aşağıdaki karşılaştırmalı özet tablo Tablo 7.29 elde edilmiştir.

Tablo 7.29 : Karşılaştırmalı özet tablo

Hata Türü numarası	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG	Klasik FMEA	Bulanık ART
1	9	8	2	144	1	1
2	6	3	8	144	1	1
3	4	4	9	144	1	1
4	6	6	4	144	1	3
5	2	6	10	120	1	1
6	4	3	10	120	1	1
7	8	3	5	120	1	2
8	4	5	6	120	1	3

Klasik H.T.E.A. yönteminde, istatistiksel güven seviyesi % 90 kabul edildiğinde eşik değeri 100 puan olmaktadır. Yani R.Ö.G. değeri 100' ün üzerinde olan tüm hata türleri için önlem alma çalışması yapılmaktadır. Bu sebeple yukarıdaki örnek, klasik H.T.E.A. yöntemi ile çözümlendiği zaman, bütün hata türlerinin mutlaka önlem alınması gereken grupta olduğu görülmektedir.

Ancak aynı problem bizim önerdiğimiz Bulanık A.R.T. H.T.E.A. (parametre değerleri; 0,6 – 0,4 – 1,0) yöntemi kullanılarak çözüldüğünde 1, 2, 3, 5 ve 6 numaralı hata türleri öncelik sırası 1 sınıfında, 7 numaralı hata türünün öncelik sırası 2 sınıfında ve 4 ve 8 numaralı hata türünün ise öncelik sırası 3 sınıfında yer aldığı görülmektedir. Yukarıda tablo 7.29' da görüldüğü üzere, problem Bulanık A.R.T. H.T.E.A. yöntemi ile çözüldüğünde, düzeltilmesi gereken hata sayısında önemli ölçüde bir azalma göze çarpmaktadır.

5. R.Ö.G. ile ilgili bir diğer açmaz da, örneğin R.Ö.G. = 144 yapacak 4 farklı kombinasyon mümkündür. Ancak, R.Ö.G.' ü; 11, 22, 33, ..., 990 olarak elde edecek her hangi bir şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik kombinasyonu bulunmamaktadır. Özetle, klasik H.T.E.A. yönteminde, R.Ö.G. = 10 x 10 x 10 = 1000 sayısının en fazla 120 tanesi elde edilebilmektedir.

Bulanık A.R.T. H.T.E.A. yönteminde ise, R.Ö.G. değerini oluşturan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri ayrı ayrı ele alınmış olduğundan, bu üç risk faktörü için de 10 x 10 x 10 = 1000 farklı kombinasyon elde etmek mümkündür.

Özet olarak, bu tez çalışmasında uygulanan Bulanık A.R.T. algoritması kullanıldığı takdirde belirlenen uygunluk parametresi değeri, R.Ö.G.' ü oluşturan; keşfedilebilirlik, şiddet ve olasılık risk faktörü değerlerinin üçlü değerleriyle ayrı ayrı karşılaştırılıp iyileştirmeler, programın çalıştırılması sonucu elde edilen sınıflardan gerekli olan(lar) için yapılmaktadır.

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hata türü ve etkileri analizi (H.T.E.A..) özetle, sistemde yer alması muhtemel bütün hata türlerinin, sistemdeki sonuçlarını veya etkilerini belirlemek ve bu hata türlerinin önemlerine göre sınıflandırabilmesi için analiz edildiği metodolojiye denmektedir.

H.T.E.A. yöntemi ne kadar etkin bir yöntem olsa da söz konusu yöntemin de bazı iyileştirmeye açık yönleri mevcuttur. Bu eleştiriye açık olan yönler göz önüne alınarak böyle bir çalışma yapma gereği duyulmuştur.

Klasik H.T.E.A. yönteminde R.Ö.G. değerini oluşturan üç risk faktörü (şiddet, keşfedilebilirlik ve olasılık), birbirleri ile çarpılarak tek bir değer üzerinden (R.Ö.G.) değerlendirilmektedir. Bu durum da, üç risk faktörü değerinin kaybolmasına neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında önerilen Bulanık A.R.T. metoduna göre ise R.Ö.G. değerini oluşturan, şiddet (Ş), keşfedilebilirlik (K) ve olasılık (O) değerleri, her bir giriş için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Böylelikle R.Ö.G. değerleri birbirine eşit olduğu halde farklı şiddet, keşfedilebilirlik ve olasılık değerlerine sahip hata türleri 3 risk faktörünün çarpımından oluşan R.Ö.G. sonucuna göre değil, onu oluşturan 3 risk faktörünün değerleri ayrı ayrı göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılmıştır.

Klasik H.T.E.A. yöntemine yöneltilen eleştiriler göz önünde bulundurularak, çalışmada ele alınan probleme, Bulanık A.R.T. algoritması uygulayarak, belirlenen uygunluk parametresi değerine göre hata sebepleri, benzerliklerine göre öncelikle sınıflara ayrılmakta daha sonra öncelik sırası algoritması kullanılarak elde edilen sınıflar önemliden önemsiz doğru sıraya sokulmakta ve öncelikli olarak düzeltilmesi gereken hata sınıfları belirlenmektedir. Böylelikle, R.Ö.G.' ü oluşturan; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik, risk faktörü değerleriyle ayrı ayrı karşılaştırılıp iyileştirmeler, programın çalıştırılması sonucu elde edilen sınıflardan gerekli olanlar için yapılmaktadır. Bu şekilde düzeltilmesi gereken hata sayısında önemli ölçüde bir

azalma göze çarpmaktadır.

Tez çalışmasına başlarken, önce klasik yöntemle yapılan eleştiriler dikkate alınmış ve belirlenen hedeflere göre Bulanık A.R.T. algoritmasının adımları H.T.E.A. yöntemine adapte edilmiştir.

Bunun için öncelikle etkin bir çalışma gerçekleştirebilmek için geliştirilen yöntemde, H.T.E.A. problemlerine uygun sınıf sayısı tespit edilmiş, bu uygun sınıflandırmayı yapmayı sağlayabilecek, algoritmada kullanılan parametre (seçme, uygunluk ve öğrenme oranı parametreleri) değerlerinin birbiriyle olan kombinasyonlarında, etkin kullanım aralıkları tespit edilmiştir. Daha sonra, mevcut problem hem klasik H.T.E.A. yöntemi ile hem de çalışma sırasında elde edilen parametre değerleri kullanılarak Bulanık A.R.T. metodolojisi ile çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son aşamasında da bir kez daha, uygulama kısmının başında klasik H.T.E.A. yönteminin zayıf kalan yönlerine, bu tez çalışmasında uygulanan Bulanık A.R.T. algoritmasının yaptığı katkılar örnekler vermek suretiyle detaylı olarak açıklanmıştır.

Parametrelerin duyarlılık analizlerinden elde edilen sonuçlar:

- $\rho$  ile sınıf sayısı doğru orantılıdır.
- $\beta$  ile sınıf sayısı doğru orantılıdır.
- Bir çok problemde verilerin sınıflandırılması  $\beta$  ve  $\rho$  parametrelerinin etkileşimine bağlıdır.
- Küçük boyutlu problemlerde,  $\alpha$  parametresinin çözüm üzerinde her hangi bir etkisi bulunmamaktadır. Ama büyük boyutlu problemlerde, sınıf sayısında ve sınıf üyeliklerinde  $\alpha$  düzensiz bir hal almaktadır. (Eğer giriş sayısı 30 dan küçük veya eşitse, H.T.E.A. problemi küçük boyutlu, aksi halde büyük boyutludur.)
- Problem boyutu arttıkça, sınıf sayılarında değişiklik gözlenmektedir.

## 8.1. Geleneksel Yöntem İle Geliştirilen Yöntemin Karşılaştırılması

H.T.E.A. problemi hem geleneksel hem de Bulanık A.R.T. algoritması kullanılarak iki farklı şekilde çözülmüş ve elde edilen sonuçlar aşağıda karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir:

Klasik H.T.E.A.. tespitleri

Klasik H.T.E.A. yönteminde, toplam 30 adet hata türünden, 8 tanesinin R.Ö.G. değeri 40 ve altında olduğundan önlem alma gereği duyulmamaktadır.

H.T.E.A. probleminde ele alınan hata türlerinden 8 tanesi, R.Ö.G. değeri 40 ile 100 arasında yer almaktadır. Bunlar önlem alınmasında fayda olan hata türleridir.

Ele alınan hata türlerinden 14 tanesi, R.Ö.G. değeri 100' ün üstünde yer almaktadır ve bunlar mutlaka önlem alınması gereken hata türleridir.

Bulanık A.R.T. tespitleri

Parametre değerleri olarak,  $\rho = 0.6$ ,  $\beta = 0.7$ ,  $\alpha = 0.9$  alınıp program çalıştırılmış ve bunun sonucu olarak dört adet sınıf elde edilmiştir. Elde edilen bu sınıflar etiketlenmiştir. Bu sınıfların isimleri:

Öncelik sırası 1 sınıfı: Acilen Önlem Alınmalı

Öncelik sırası 2 sınıfı: Önlem alınmasında fayda var

Öncelik sırası 3 sınıfı: Önlem almaya gerek yok

Öncelik sırası 4 sınıfı: Önemsiz

Program çıktı sonucu olarak öncelik sırası 1 sınıfında yer alan 7 adet hata türünün öncelikli olarak düzeltilmesi gerektiğine karar verilmiştir.

Toplam 30 hata türünden 7 adedi öncelik sırası 1 sınıfında yani acilen önlem alınması gereken sınıfta yer almaktadır. Bu sınıfın aritmetik ortalaması 6,857' dir.

FMEA probleminde ele alınan hata türlerinden 6 adedi öncelik sırası 2 sınıfında yani önlem alınmasında fayda olan sınıfta yer almaktadır. Bu sınıfın aritmetik ortalaması 5,167' dir.

Ele alınan hata türlerinden 5 adedi öncelik sırası 3 sınıfında yani önlem almaya gerek olmayan sınıfta yer almaktadır. Bu sınıfın aritmetik ortalaması 4,73' tür.

Ele alınan hata türlerinden 12 adedi öncelik sırası 4 sınıfında yani önemsiz sınıfta yer almaktadır. Bu sınıfın aritmetik ortalaması 4,50' dir.

Yukarıda detaylı bir şekilde sonuçları karşılaştırılan iki yöntem tablo 8.1. de özet olarak ifade edildiğinde;

Tablo 8.1 : Klasik yöntem ve geliştirilen metodolojinin karşılaştırılması

Klasik H.T.E.A. yönteminde	Bulanık A.R.T. yönteminde
14 tane olan mutlaka önlem alınması gereken hata türleri içerisinde;	6 tanesi öncelik sırası 1 sınıfında 6 tanesi öncelik sırası 2 sınıfında 2 tanesi öncelik sırası 3 sınıfında
8 tane olan önlem alınmasında fayda olan hata türleri içerisinde;	1 tanesi öncelik sırası 1 sınıfında 3 tanesi öncelik sırası 3 sınıfında 4 tanesi öncelik sırası 4 sınıfında
8 tane olan önlem almaya gerek olmayan hata türleri içerisinde;	8 tanesi de öncelik sırası 4 sınıfında yer almaktadır.

## 8.2. Bulanık A.R.T. Algoritmasının Klasik Yönteme Olan Üstünlükleri

Yukarıda örnek problemin hem Klasik H.T.E.A. hem de Bulanık A.R.T. H.T.E.A. yöntemiyle çözülmesiyle, klasik yöntemin zayıf yönleri ortaya çıkmaktadır. Aşağıda örnekler halinde tez çalışması kapsamında, Bulanık A.R.T. algoritmasının klasik yöntemin zayıf kalan yönlerine yaptığı katkılar belirtilmektedir:

1. Puanlama ile ilgili olarak yapılan bir çok kabul H.T.E.A. yönteminin zayıf yönlerinden biridir. Bu tez çalışması kapsamında önceliklendirme kısmı Bulanık A.R.T. algoritması kullanılarak daha matematik tabanlı bir karar verme yöntemi haline getirilmiştir.

2. Klasik H.T.E.A. yönteminde, belirlenen eşik değerin üzerinde kalan hata türü sebeplerinin tamamı için düzeltici önlemler saptanmaktadır. Çalışmaya Bulanık A.R.T. algoritması uygulandığında, hata sebepleri benzerliklerine göre sınıflara ayrılmakta daha sonra öncelik sırası algoritması kullanılarak elde edilen sınıflar önemliden önemsiz doğru sıraya sokulmakta, böylelikle öncelikli olarak düzeltilmesi gereken hata sınıfı belirlenmektedir. Bu şekilde düzeltilmesi gereken hata sayısında önemli ölçüde bir azalma göze çarpmaktadır. Yukarıda Tablo 8.2. de ele alınan klasik H.T.E.A. ile geliştirilen yöntemin karşılaştırıldığı tabloda bu durum açık olarak görülmektedir. Özetle, problem klasik H.T.E.A. yöntemi ile çözüldüğünde, mutlaka düzeltici önlem alınması gereken hata türü sayısı 14 olarak elde edilirken, Bulanık ART algoritması kullanılarak çözüldüğünde öncelikli olarak düzeltilmesi gereken hata türü sayısı 7 olmaktadır.

3. Klasik H.T.E.A. yönteminde, R.Ö.G. değerini oluşturan üç risk faktörü (şiddet, keşfedilebilirlik ve olasılık) ayrı olarak ölçülüp, birbirleri ile çarpılmak suretiyle tek bir değer üzerinden (R.Ö.G.) değerlendirilmektedir. Bu durum iki farklı sakınca ortaya koymaktadır;

İlk sakınca; R.Ö.G. değerini oluşturan bazı şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik risk faktörleri diğer kombinasyonlardan daha düşük olmasına rağmen daha tehlikeli olabilmektedir.

İkinci sakınca ise; iyileştirme çalışmasının yapılacağı hata türü sebebinin, R.Ö.G. değeri göz önünde bulundurularak belirlenmesi, üç risk faktörü değerinin ayrı ayrı kaybına sebep olmaktadır.

Bulanık A.R.T. metodunda ise, R.Ö.G. değerini oluşturan, şiddet (Ş), keşfedilebilirlik (K) ve olasılık (O) değerleri, her bir giriş için ayrı olarak değerlendirilmiştir. Böylelikle R.Ö.G. değerleri birbirine eşit olduğu halde farklı şiddet, keşfedilebilirlik ve olasılık değerlerine sahip H.T.E.A. değerleri 3 risk faktörünün çarpımından oluşan R.Ö.G. sonucuna göre değil, onu oluşturan 3 ayrı risk faktörünün değerleri tek tek göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılmıştır.



Bulanık A.R.T. yönteminde, eşik değer kavramı yoktur. Onun yerine sınıflardaki hata türlerinin birbirleriyle olan uygunluk değeri vardır. Hata türü hangi sınıfın uygunluk değerini yakalarsa o sınıfa ait olmaktadır. Yöntem sayesinde risk faktörleri ayrı ayrı değerlendirildiğinden dolayı, faktörlerde her hangi bir değer kaybına rastlanmamaktadır.

4. Klasik H.T.E.A. yönteminde, olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik puanlarının birbirinden farklı olduğu bazı durumlarda, bu risk faktörlerinin çarpımı sonucu elde edilen R.Ö.G. değeri kimi zaman aynı olabilmektedir. Burada değerlendirme R.Ö.G. sonucuna göre yapıldığı için bu değerler birbirinden farklı olduğu halde, birbirinin aynısıymış gibi işlem görmektedirler. Ancak her iki olayın risk anlamları aynı olmamaktadır. Bu durum, zaman veya kaynak israfına veya bazı hallerde önemsenmeyen yüksek riske neden olabilmektedir.

5. R.Ö.G. ile ilgili bir eleştiri de, örneğin R.Ö.G. = 144 yapacak 4 farklı kombinasyon mümkündür. Ancak, R.Ö.G.' ü; 11, 22, 33,....., 990 olarak elde edecek her hangi bir şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik kombinasyonu bulunmamaktadır. Özetle, klasik H.T.E.A. yönteminde, R.Ö.G. =  $10 \times 10 \times 10 = 1000$  sayısının en fazla 120 tanesi elde edilebilmektedir.

Bulanık A.R.T. H.T.E.A. yönteminde ise, R.Ö.G. değerini oluşturan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri ayrı ayrı ele alınmış olduğundan, bu üç risk faktörü için de  $10 \times 10 \times 10 = 1000$  farklı kombinasyon elde etmek mümkündür.

### **8.3. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler**

Aşağıda gösterilen ve çalışmanın başlangıcında belirlenen hedeflere, geliştirilen metodolojinin uygulanması sonucunda başarıyla ulaşılmıştır. Bu hedefler:

- Hata türlerinin değerlendirilmesinin daha matematik tabanlı bir yöntemle yapılması,
- Yaklaşımın, yukarıda da değinilen, klasik H.T.E.A. yönteminin yetersiz kaldığı kısımlara çözüm getirebilecek nitelikte olması,

- Hata türlerinin önceliklendirilmesi sürecinin, katılımcıların deneyim seviyelerine duyarlılıktan mümkün olduğunca uzaklaştırılması,
- Yöntemin mümkün olduğunca basit ve kolay uygulanabilir olmasıdır.

Ancak; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik kriterlerindeki puanlama kuralları, katılımcıların konu ile ilgili bilgi seviyesi ve deneyimlerine göre değişkenlik gösterdiğinden, klasik H.T.E.A. yöntemindeki R.Ö.G. hesaplama yöntemi subjektif bir hal almaktadır. İkinci olarak, bazı durumlarda çözüm maliyeti, sebep maliyetinin üzerine çıkabilmekte ancak önceliklerin tespitine bu durumun etkisi yansıtılmamaktadır. Hata türünün oluşturacağı maliyet çözüm için alınacak önlemlerin belirginleştirilmesini de sağlar.

Yukarıda söz edilen iki eleştiriye, bu çalışma ile bir çözüm getirilememektedir. Bu durum, ileriki çalışmaların konusu olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Boran, S., “Hata Şekil ve Etkileri Analizinin Bulanık Küme Yaklaşımıyla Çözümlemesi Olanğı”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1996).
- [2] Eryürek, Ö.F., “Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminde Yeni Bir Karar Verme Yöntemi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2003).
- [3] Şimşek, M., “Sorularla Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemleri”, *Alfa Basım Yayın Ltd. Şti.*, İstanbul, (2000)
- [4] Aydın, Ö.Ö., “Tasarımda Hata Türü Ve Etkileri Analizi Ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2004).
- [5] <http://tr.wikipedia.org/wiki/HACCP> (Ziyaret tarihi: 05.03.2008)
- [6] Goddard, P.L., Raytheon, T., “Software FMEA Techniques”, *2000 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0-7803-5848-1/00, IEEE, (2000).
- [7] Sankar, N.R., Prabhu, B.S., “Applicaton of Bulanık Logic to Matrix FMECA”, *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, Vol. 20, American Institute of Physics, 1-56396-988-2/01, (2001).
- [8] Guimares, A.C.F., Lapa, C.M.F., “Fuzzy FMEA Applied to PWR Chemical and Volume Control System”, *Progress in Nuclear Energy*, 44(3), 191 – 213, (2004).
- [9] Almannai, B., Greenough, R., Kay, J., “A Decision Support Tool Based on QFD and FMEA for the Selection of Manufacturing Automation Technologies”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24, 501-507, (2008).
- [10] Akkurt, M., “Kalite Kontrol Excel Destekli”, *Birsen Yayınevi*, Ankara, (2002).
- [11] Çetin, C., Akın, B., Erol, V., “Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi”, *Beta Basım A.Ş.*, İstanbul, (2001).
- [12] Besterfield, D. H. , Besterfield, C., Besterfield, G., Besterfield, M.,”Total Quality Management” 2nd Ed., *Prentice Hall*, New Jersey, 3-20 (1999).
- [13] Musubeyli, E.N., “Ürünün Önemli Kalite Karakteristiklerinin Belirlenmesinde Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Kalite Evinin Birlikte Kullanılması”, Doktora tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir. (1999).

- [14] Bilgin, M., “Tasarımda kalite ve FMEA metodu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1994).
- [15] Papadopoulos, Y., Parker, D., Grante, C., “Automating The Failure Modes and Effects Analysis of Safety Critical Systems”, *Proceedings of The 8th IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering (Hase’04)*, 1530-2059/04, IEEE, (2004).
- [16] Akın B., Erol V., Çetin C., “Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 9000 Kalite Güvence Sistemi”, *Beta Basım Yayım Dağıtım A.S.*, İstanbul, 5-342 (1998).
- [17] Tekinerdogan, B., Sozer, H., Aksit, M., “Software Architecture Reliability Analysis Using Failure Scenarios”, *The Journal of Systems and Software*, 81, 558-575, (2008).
- [18] Prasad, S., “Improving Manufacturing Reliability in IC Package Assembly Using FMEA Technique”, *IEEE/CHMT’ 90 IEMT Symposium*, Ch2864-7/90/0000, IEEE, (1990).
- [19] Klein, W.E., Lali, V.R., “Modal-Oa Wind Turbine Generator: Failure Modes and Effects Analysis”, *1990 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, (1990).
- [20] Kara-Zaitri, C., Keller, A.Z., Barody, I., Fleming, P.V., “An Improved FMEA Methodology”, *1991 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0149-144X/91/0000-0248, IEEE, (1991).
- [21] Kara-Zaitri, C., Keller, A.Z., Fleming, P.V., “A Smart Failure Mode and Effect Analysis Package”, *1992 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0149-144X/92/0000-0414, IEEE, (1992).
- [22] Russomanno, D.J., Bonnell, R.D., Bowles, J.B., “A Blackboard Modal of An Expert System for Failure Modes and Effects Analysis”, *1992 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0149-144X/92, IEEE, (1992).
- [23] Bell, D., Cox, L., Jackson, S., Schaefer, P., “Using Causal Reasoning for Automated Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)”, *1992 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0-149-144X/92/0000, IEEE, (1992).
- [24] Goddard, P.L., “Validating The Safety of Embedded Real –Time Control Systems Using FMEA”, *1993 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0-149-144X/93, IEEE, (1993).
- [25] Savakoor, D.S., Bowles, J.B., Bonnell, R.D.,” Combining Sneak Circuit Analysis and Failure Modes and Effects Analysis”, *1993 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0149-144X/93/, IEEE, (1993).

- [26] Russomanno, D.J., Bonnell, R.D., Bowles, J.B., “Functional Reasoning in A Failure Modes and Effects Analysis Expert System”, *1993 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0149-144X/93, IEEE, (1993)
- [27] Kukkal, P., Bowles, J.B., Bonnell, R.D., “Database Design For Failure Modes and Effects Analysis”, *1993 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0149-144X/93/, IEEE, (1993).
- [28] Spangler, C.S., “Equivalence Relations within The Failure Mode and Effects Analysis”, *1993 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0149-144X/93/, IEEE, (1993).
- [29] Tripathi, S., Shankar, S., Moghadam, F.J., Colevatti, G., “Comparison of The Applications of Process Simulations and FMEA: Two Case Studies”, *1994 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, 0-7803-2053-0, IEEE, (1994).
- [30] Whitcomb, R., “Failure Modes And Effects Analysis (FMEA) System Deployment in A Semiconductor Manufacturing Environment”, *1994 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, 0-7803-2053-0/94, IEEE, (1994).
- [31] Pelaez, C.E., Bowles, J.B., “Applying Bulank Cognitive – Maps Knowledge – Representation to Failure Modes and Effects Analysis”, *1995 Proceedings Annual Reliability And Maintainability Symposium*, 0149-144X/95, IEEE, (1995).
- [32] Montgomery, T.A., Pugh, D.R., Leedham, S.T., Twitchett, S.R., “FMEA Automation for The Complete Design Process”, *1996 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0-7803-3112-5/96, IEEE, (1996).
- [33] Eubanks, C.F., Kmenta, S., Ishii, K., “System Behaviour Modeling As A Basis For Advanced Failure Modes and Effects Analysis”, *1996 Asme Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference*, Irvine, California, (1996).
- [34] Littlefield, M.L., “Fmea/Cil Implementation For The Space Shuttle New Turbopumps”, *1996 Proceedings Annual Reliability And Maintainability Symposium*, 0-7803-3112-5/96, IEEE, (1996).
- [35] Barsky, I., Dutta, S.P. “Cost Assessment For Ergonomic Risk (CAFER)”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 307-315, (1997).
- [36] Yang, K., Kapur, K.C., “Customer Driven Reliability: Integration of QFD and Robust Design”, *1997 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 07803-3783-2/97/, IEEE, (1997).
- [37] Abdul-Nour, G., Beadoin, H., Ouellet, P., Rochette, R., Lambert, S., “A Reliability Based Maintenance Policy; A Case Study”, *Computers Industrial Engineering*, Vol. 35, No. 3-4, 591-594, (1998).

- [38] Hawkins, P.G., Woollons, D.J., “Failure Modes and Effects Analysis of Complex Engineering Systems Using Functional Models”, *Artificial Intelligence in Engineering*, 12, 375 – 397, (1998).
- [39] Price, C.J., “FMEA for Multiple Failures”, *1998 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0-7803-4362-X/98, IEEE, (1998).
- [40] Pinna, T., Caporali, R., Ambi, G., Burgazzi, L., Poucet, A., Porfiri, M.T., “Failure Mode and Effect Analysis on Iter Heat Transfer Systems”, *Fusion Engineering and Design*, 42, 431 – 436, (1998).
- [41] Huang, G.Q., Nie, M., Mak, K.L., “Web – Based Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)”, *Computers&Industrial Engineering*, 37, 177 – 180, (1999).
- [42] Cromcheecke, M.E., Mak, R., De Mol, B.A.J.M., “Failure Mode and Effect Analysis and Fault Tree Analysis in the Use of the Coaguchek Prothrombin Time System”, *International Journal of Risk and Safety in Medicine*, 12, 173-179, Ios Pres, (1999).
- [43] Childs, J.A., Mosleh, A., “A Modified FMEA Tool For Use in Identifying And Addressing Common Cause Failure Risks in Industry”, *1999 Proceedings Annual Reliability And Maintainability Symposium*, 0-7803-5143-6/99, IEEE, (1999).
- [44] Yacoub, S.M., Ammar, H.H., Robinson, T., “A Methodology for Architectural Level Risk Assessment Using Dynamic Metrics”, *0-7695-0807-3/00, IEEE*, (2000).
- [45] Huang, G.Q., Shi, J., Mak, K.L., “Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Over The WWW”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16, 603 – 608, (2000).
- [46] Walker, R.W., “Assessment of Technical Risks”, *0-77803-6652-2/2000, IEEE*, (2000).
- [47] Braglia, M., Bevilacqua, M., “Bulanik Modelling and Analytical Hierarchy Processing As a Means of Quantifying Risk Levels Associated with Failure Modes in Production Systems”, *Technology, Law and Insurance*, 5, 125 – 134, (2000).
- [48] Lee, B.H., “Using Bayes Belief Networks in Industrial FMEA Modeling and Analysis”, *2001 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0-7803-6615-8/01, IEEE, (2001).
- [49] Franceschini, F., Galetto, M., “A New Approach For Evaluation of Risk Priorities of Failure Modes in FMEA”, *International Journal of Production Research*, 39(13), 2991 – 3002, (2001).
- [50] Xu, K., Tang, L.C., Xie, M., Ho, S.L., Zhu, M.L., “Bulanik Assessment of FMEA for Engine Systems”, *Reliability Engineering & System Safety*, 75, 17 – 29, (2002).

- [51] Hsiao, S., “Concurrent Design Method for Developing A New Product”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 41-55, (2002).
- [52] Price, C.J., Taylor, N.S., “Automated Multiple Failure FMEA”, *Reliability Engineering and System Safety*, 76, 1-10, (2002).
- [53] Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, A., Arena, F., “FMEA Methodology Design, Implementation and Integration with HACCP System in A Food Company”, *Food Control*, 13, 495 – 501, (2002).
- [54] Farquharson, J., McDuffee, J., “FMEA of Marine Systems: Moving From Prescriptive To Risk-Based Design and Classification”, *2002 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 0-7803-7348-0/02, IEEE, (2002).
- [55] Rhee, S.J., Ishii, K., “Using Cost Based FMEA To Enhance Reliability and Serviceability”, *Advanced Engineering Informatics*, 17, 179 – 188, (2003).
- [56] Sandle, T., “The Use of Risk Assessment in The Pharmaceutical Industry – The Application of FMEA To A Sterility Testing Isolator: A Case Study”, *European Journal of Parenteral & Pharmaceutical Sciences*, 8, 2, 43 – 49, (2003).
- [57] Ng, M.F., Tummala, V.M.R., Yam, R.C.M., “A Risk Based Maintenance Management Model For Toll Road/Tunnel Operations”, *Construction Management and Economics*, 21, 495-510, (2003).
- [58] Johnson, K.G., Khan, M.K., “A Study into The Use of The Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA) in The Automotive Industry in The UK”, *Journal of Materials Processing Technology*, 139, 348 – 356, (2003).
- [59] Eryürek, Ö.F., Tanyaş, M., “Hata Türü ve Etkileri Analiz Yönteminde Maliyet Odaklı Yeni Bir Karar Verme Yaklaşımı”, *İtü Dergisi/D Mühendislik*, 2(6), 31 – 40, Aralık, (2003)
- [60] Pillay, A., Wang, J., “Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning”, *Reliability Engineering and System Safety*, 79, 69 – 85, (2003).
- [61] Rhee, S.J., Ishii, K., “Life Cost – Based FMEA Using Empirical Data”, *Proceedings of Detc2003 Asme2003 Design Engineering Technical Conferences Chicago II*, (2003).
- [62] Chengshan, W., Yinghua, X., “Applying Bayesian Network to Distribution System Reliability Analysis”, *0-7803-8560-8/04*, IEEE, (2004).
- [63] Guimares, A.C.F., Lapa, C.M.F., “Effects Analysis Fuzzy Inference System in Nuclear Problems Using Approximate Reasoning”, *Annals of Nuclear Energy*, 31, 107-115, (2004).

- [64] Spencer, C.M., Rhee, S.J., “Comparison Study of Electromagnet and Permanent Magnet Systems for An Accelerator Using Cost – Based Failure Modes and Effects Analysis”, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol.14, No.2, (2004).
- [65] Atamer, A., “Comparison of FMEA and Field-Experience for a Turbofan Engine with Application to Case-Based Reasoning”, *Aerospace Conference Proceedings*, IEEE, (2004).
- [66] Fechter, R.J., Barba, J.J., “Failure Mode Effects Analysis Applied To The Use of Infuaion Pumps”, *Proceedings of The 26 Th Annual International Conference of The IEEE Embs*, San Francisco, USA, (2004).
- [67] Ozarin, N., “Failure Modes and Effects Analysis During Design of Computer Software”, *RAMS 2004*, 0-7803-8215-3/04, IEEE, (2004).
- [68] Teoh, P.C., Case, K., “Failure Modes and Effects Analysis Through Knowledge Modelling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153, 253 – 260, (2004).
- [69] De Lemos, Z., “FMEA Software Program for Managing Preventive Maintenance of Medical Equipment”, *0-7803-8285-4/04*, IEEE, (2004).
- [70] Hartkopf, S., “From A Single Discipline Risk Management Approach to An Interdisciplinary One: Adaptation of FMEA to Software Needs”, *Proceedings of The Eleventh Annual International Workshop on Software Technology and Engineering Practice (Step'04)*, 0-7695-2218-1/04, IEEE, (2004).
- [71] Chen, T.T., Chen, Y., Chung, Y., “Implementation of an Enhanced FMEA System for the PCBA Design Testing – A Practical Case Study”, *2004 International Conference On The Business Of Electronic Product Reliability And Liability*, 0-7803-8362-1/04, IEEE, (2004).
- [72] Erginel, N.M., “Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği için Bir Model ve Uygulaması”, *Makine Mühendisleri Odası, Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Cilt 15, Sayı 3, 17 – 26, (2004).
- [73] Garcia, P.A.A., Schirru, R., Melo, P.F.F.E., “A Bulanık Data Envelopment Analysis Approach for FMEA”, *Progress in Nuclear Energy*, 46(3-4), 359 – 373, (2005).
- [74] Arkusinski, A., “A Method to Increase the Design Assurance Level of Software by Means of FMEA”, *0-7803-9307-4/05, IEEE*, (2005).
- [75] Yen, S., Chen, J.L., “An Eco-Innovative Tool By Integrating FMEA and TRIZ Methods”, *1-4244-0081-3/05, IEEE*, (2005).
- [76] Teoh, P.C., Case, K., “An Evaluation of Failure Modes and Effects Analysis Generation Method for Conceptual Design”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 18, No. 4, 279-293, (2005).



- [77] Bukkowsky, L., Feliks, J., “Application of Bulank Sets in Evaluation of Failure Likelihood”, *1991 Proceedings of The 18th International Conference on Systems Engineering (Isceng’05)*, 0-7695-2359-5/05, IEEE, (2005).
- [78] Price, C.J., Snooke, N.A., Lewis, S.D., “A Layered Approach To Automated Electrical Safety Analysis in Automotive Environments”, *Computers in Industry*, 57, 451 – 461, (2006).
- [79] Cassanelli, G., Mura, G., Fantini, F., Vanzi, M., Plano, B., “Failure Analysis – Assisted FMEA”, *Microelectronics Reliability*, 46, 1795-1799, (2006).
- [80] Guimares, A.C.F., Lapa, C.M.F., “Hazard and Operability Study Using Approximate Reasoning in Light – Water Reactors Passive Systems”, *Nuclear Engineering and Design*, 236, 1256 – 1263, (2006).
- [81] Seyed-Hosseini, S.M., Safaei, N., Asgharpour, M.J., “Reprioritization of Failures in A System Failure Mode and Effects Analysis By Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Technique”, *Reliability Engineering and Safety*, 91, 872 – 881, (2006).
- [82] Guimares, A.C.F., Lapa, C.M.F., “Bulanık Inference to Risk Assessment on Nuclear Engineering Systems”, *Applied Soft Computing*, 7, 17 – 28, (2007).
- [83] <http://www.onlinekalite.com/htmdosyalar/hataturleri.htm> (ziyaret tarihi: 02.12.2007)
- [84] [www.uted.org/dergi/2001/mart/mart\\_7.htm](http://www.uted.org/dergi/2001/mart/mart_7.htm) (ziyaret tarihi: 11.11.2007)
- [85] Stamatis, D. H., “Failure Mode and Effects Analysis FMEA – from Theory to Execution”, *ASQC Quality Pres*, Wisconsin. (1995).
- [86] Yılmaz, B.S., “Hata Türü ve Etkileri Analizi”, Dokuz Eylül Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt. 2, Sayı. 4, (2000).
- [87] <http://www.tisk.org.tr/yayinlar.asp?sbj=ic&id=1426> (ziyaret tarihi: 04.01.2008)
- [88] Akkurt, M., “Kalite Kontrol: Excel Destekli”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (2002).
- [89] <http://www.fmeainfocentre.com/handbooks/umich.pdf> (ziyaret tarihi: 12.12.2007)
- [90] Akagündüz, S., “Hata Türü Ve Etkileri Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (1995).
- [91] Ford Motor Company, “Failure Mode and Effects Analysis Handbook”, (1996).
- [92] <http://www.altisigma.com/modules.php?name=News&file=article&sid=6> (ziyaret tarihi: 13.10.2007)

- [93] Karakuş , D.Ç., “Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme, Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi Ve Deneylemin Tasarımı Tekniklerinin Entegre Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001).
- [94] Öndemir, Ö., Güngör, C., Baraçlı, H., “Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Yaklaşımının Kullanılabilirliği, *YA / EM’2004 Yöneyem Araştırması / Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi*, Adana, (2004).
- [95] Şen, Z., “Yapay Sinir Ağları İlkeleri”, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul, (2004).
- [96] Kröse, B., Van Der Smagt, P., “An Introduction to Neural Networks”, *University of Amsterdam, Eight Edition*, (1996).
- [97] Öztemel, E., “Yapay Sinir Ağları”, *Papatya Yayıncılık*, İstanbul, (2003)
- [98] Elmas, Ç., “Yapay Sinir Ağları”, *Seçkin Yayıncılık A.Ş.*, Ankara, (2003).
- [99] Leshno, M., Moller, D., Ein-Dor, P., “Neural Nets in a Group Decision Process”, *International Journal of Game Theory*, 31, 447 – 467, (2002).
- [100] Efe, M.Ö., Kaynak, O., “Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları”, *Boğaziçi Üniversitesi Yayınları*, (2000).
- [101] Burwick, T., Joubin, F., “Optimal Algorithmic Complexity of Bulanık ART”, *Neural Processing Letters*, 7, 37–41, (1998).
- [102] Hopgood, A.A., “Intelligent Systems For Engineers and Scientists”, *Crc Press, Boca Raton, Washington D.C.*, ISBN: 0-8493-0456-3, (2001).
- [103] Zurada, J.M., “An Introduction to Artificial Neural Systems”, *West Publishing Company, St. Paul*, New York, USA, (1992).
- [104] Mehrotra, K., Mohan, C.K., Ranka, S., “Elements of Artificial Neural Networks”, *Cambridge, Mass.: MIT Press*, (1997).
- [105] Krishna, R.P., Rani, S.J., “Analyzing Mining Patterns Using Bulanık ART and Soft Regression”, *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, Vol. 13, No. 4, 931 – 944 (2004).
- [106] Kondadadi, R., Kozma, R., “A Modified Bulanık ART for Soft Document Clustering”, *0-7803-7278-6/02*, IEEE, (2002).
- [107] Cinque, L., Foresti, G., Lombardi, L., “A Clustering Bulanık Approach For Image Segmentation”, *The Journal of Pattern Recognition*, 37, 1797-1807, (2004).
- [108] Kuan, M.M., Lim, C.P., Harrison, R.F., “On Operating Strategies of The Bulanık ARTMAP Neural Network: A Comparative Study”, *International Journal of Computational Intelligence and Applications*, Vol. 3, No. 1, 23 – 43, (2003).

- [109] Yeo, N.C., Lee, K.H., Venkatesh, Y.V., Ong, S.H., “Colour Image Segmentation Using The Self – Organizing Map and Adaptive Resonance Theory”, *Image and Vision Computing*, 1 – 20, (2005).
- [110] Granger, E., Blaquiere, Y.S., Cantin, M.A., Lavoie, P., “A VSLI Architecture for Fast Clustering With Bulank ART”, *Neural Networks*, 0-8186-7456-3, IEEE, (1996).
- [111] Cheng, C.H., ”A Comparative Examination of Selected Cellular Manufacturing Clustering Algorithms”, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 15, No. 12, 86-97, (1995).
- [112] Singer, S., Venetsky,L., Lynch, M.L., “Virtual Test Automation Generator (VTAG)”, *Navair Lakehurst*, 1 – 10, (2000).
- [113] Pacella, M., Semeraro, Q., ”Understanding ART – Based Neural Algorithms As Statistical Tools For Manufacturing Process Quality Control”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18, 645 – 662, (2005).
- [114] Carpenter, G.A., Grossberg, S., Rosen, D.B., “Bulank ART: Fast Stable Learning and Categorization of Analog Patterns by an Adaptive Resonance System”, *Neural Networks*, 4, 759 – 771, (1991).
- [115] Huang, J., Georgiopoulos, M., Heileman, G.L., “Properties of Learning in Bulank ART”, *0-7803-1901-X/94*, IEEE, (1994).
- [116] Blume, M., Esener, S.C., “An Efficient Mapping of Bulank ART Onto A Neural Architecture”, *Neural Networks Letter*, 10(3), 409-411, (1997).
- [117] Munoz, A., “Compound Key Word Generation From Document Databases Using A Hierarchical Clustering ART Model”, *Intelligent Data Analysis*, 1, 24 – 48, (1997).
- [118] Georgiopoulos, M., Dagher, I., Heileman, G.L., Bebis, G., “Properties of Learning of A Bulank ART Variant”, *Neural Networks*, 12, 837 – 850, (1999).
- [119] Suresh, N.C., Kaparathi, S., “Performance of Bulank ART Neural Network for Group Technology Cell – Formation”, *International Journal of Production Research*, 32, 1693 – 1713, (1994).
- [120] Chung, I., Lin, C., Lin, C., “A GA – Based Bulank Adaptive Learning Control Network”, *Bulank Sets and Systems*, 112, 65 – 84, (2000).
- [121] Carpenter, G.A., Milenova, B.L., “ART Neural Networks for Medical Data Analysis and Fast Distributed Learning”, *Artificial Neural Networks in Medicine and Biology*, Göteborg University, Sweden, (2000).
- [122] Tomida, S., Hanai, T., Honda, H., Kobayashi, T., “Gene Expression Analysis Using Bulank ART”, *Genome Informatics*, 12, 245 – 246, (2001).

- [123] Tomida, S., Hanai, T., Honda, H., Kobayashi, T., “Analysis of Expression Profile Using Bulanık ART”, *Bioinformatics*, 18(8), 1073 – 1083, (2002).
- [124] Lubkin, J., Cauwenberghs, G., “VLSI Implementation of Bulanık Adaptive Resonance and LVQ”, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 30, 149 – 157, (2002).
- [125] Kato, N., Kobayashi, T., Honda, H., “Gene Expression Analysis of Heat Shock Response Using Bulanık ART”, *Genome Informatics*, 13, 272 – 273, (2002).
- [126] Anagnostopoulos, G.C., Georgiopoulos, M., “Category Regions As New Geometrical Concepts in Bulanık ART and Bulanık ARTMAP”, *Neural Networks*, 15, 1205-1221, (2002).
- [127] Park, S., Suresh, N.C., “Performance of Fuzy ART Neural Network and Hierarchical Clustering for Part – Machine Grouping Based on Operation Sequences”, *International Journal of Production Research*, 41(14), 3185 – 3216, (2003).
- [128] Peker, A., Kara, Y., “Parameter Setting of The Bulanık ART Neural Network To Part – Machine Cell Formation Problem”, *International Journal of Production Research*, 42(6), 1257 – 1278, (2004).
- [129] Pacella, M., Semeraro, Q., Anglani, A., “Manufacturing Quality Control By Means of A Bulanık ART Network Trained on Natural Process Data”, *Artificial Intelligence*, 17, 83 – 96, (2004).
- [130] Gomez, S.A., Chesnevar, C. I., “Integrating Defeasible Argumentation with Bulanık ART Neural Networks for Pattern Classification”, *Journal of Computer Science & Technology*, 4(1), (2004).
- [131] Lopes, M.L.M., Minussi, C.R., Lotufo, A.D.P., “Electric Load Forecasting Using a Bulanık ART&ARTMAP Neural Network”, *Applied Soft Computing*, 5, 235 – 244, (2005).
- [132] Dagher, I., “ART Networks with Geometrical Distances”, *Journal of Discrete Algorithms*, 4(4), 538 – 553, (2006).
- [133] Mun-Hwa, K., Dong-Sik, J., Young-Kyu, Y., “A Robust-Invariant Pattern Recognition Model Using Bulanık ART”, *Pattern Recognition*, 34, 1685 – 1696, (2001).
- [134] Wang, J., “Computational Intelligence in Manufacturing Handbook”, *Boca Raton: Crc Press Llc*, (2001).
- [135] <http://www.fmeainfocentre.com/examples/chryslerexample.pdf> (*ziyaret tarihi: 10.01.2007*)

[136] [http://www.fmeainfocentre.com/examples/xfmea\\_dfmea.pdf](http://www.fmeainfocentre.com/examples/xfmea_dfmea.pdf) (*ziyaret tarihi: 10.01.2007*)

[137] <http://www.fmeainfocentre.com/examples/examplesprecipitationprotector.pdf> (*ziyaret tarihi: 10.01.2007*)

[138] Duman, E.E., “Hata Türü ve Etkileri Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001).

[139] Elibol, M.N., “Hata Türü ve Etkileri Analizinin Gediz İplik ve Mensucat Sanayi A.Ş.’ de Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2000).

## EKLER

### Test Problemi 1

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	10	2	1	20
2	10	3	4	120
3	8	2	7	112
4	5	2	7	70
5	4	6	3	72
6	4	3	7	84
7	4	6	3	72

### Test Problemi 2

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	1	2	2	4
2	1	2	2	4
3	5	2	3	30
4	5	2	3	30
5	3	3	3	18
6	4	3	3	36
7	3	2	6	36

### Test Problemi 3

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	4	4	1	16
2	4	5	4	80
3	4	5	2	40
4	6	6	5	180
5	6	4	2	48
6	6	4	3	72
7	7	5	4	140
8	7	4	4	112

#### Test Problemi 4

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	9	1	2	18
2	10	3	3	90
3	9	1	7	63
4	10	1	7	70
5	10	5	1	50
6	7	6	7	294
7	7	4	7	196
8	7	2	2	28
9	7	5	8	280
10	7	3	1	21
11	7	4	4	112

#### Test Problemi 5

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	6	4	6	144
2	6	2	3	36
3	6	2	2	24
4	6	4	3	72
5	6	2	3	36
6	6	1	2	12
7	7	5	5	175
8	7	3	6	126
9	7	5	4	140
10	6	6	6	216
11	6	3	6	108
12	6	3	4	72
13	7	6	4	168
14	7	3	5	105
15	7	3	3	105
16	8	3	3	72

### Test Problemi 6

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	10	2	2	40
2	10	1	2	20
3	10	8	10	800
4	10	3	1	30
5	10	6	2	120
6	10	2	2	40
7	10	5	4	200
8	10	6	4	240
9	10	2	8	160
10	7	2	4	56
11	10	2	7	140
12	10	1	7	70
13	4	2	7	56
14	4	1	2	8
15	5	2	4	40
16	5	2	4	40

### Test Problemi 7

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	10	2	1	20
2	10	2	1	20
3	10	2	1	20
4	10	6	4	240
5	9	7	1	63
6	9	2	1	18
7	10	2	1	20
8	8	2	1	16
9	10	6	2	120
10	10	8	4	320
11	10	8	5	400
12	10	5	6	300
13	10	6	8	480
14	10	6	3	180
15	10	6	8	480
16	1	6	4	24
17	10	1	1	10
18	7	7	5	245
19	9	4	2	72
20	9	7	1	63
21	9	7	1	63
22	10	7	1	70



### Test Problemi 8

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	8	3	2	48
2	8	1	2	16
3	8	1	2	16
4	8	1	2	16
5	8	1	2	16
6	8	1	5	40
7	8	1	2	16
8	8	3	2	48
9	8	1	2	16
10	8	5	4	160
11	8	2	2	32
12	8	1	3	24
13	8	3	4	96
14	8	3	4	96
15	8	4	4	128
16	8	2	3	48
17	8	3	3	72
18	8	2	4	64
19	8	2	3	48
20	8	2	4	64
21	8	2	3	48
22	3	2	3	18

### Test Problemi 9

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	3	3	5	45
2	3	2	5	30
3	2	2	1	4
4	3	5	4	60
5	2	2	3	12
6	6	3	2	36
7	7	4	2	56
8	3	4	5	60
9	3	5	2	30
10	3	3	3	27
11	3	2	5	30
12	2	2	7	28
13	3	5	2	30
14	1	2	4	8
15	5	7	2	70
16	3	5	4	60
17	4	2	3	24
18	2	3	4	24

19	3	7	1	21
20	3	3	3	27
21	2	3	4	24
22	2	1	2	4
23	4	4	3	48
24	3	1	2	6
25	3	2	2	12
26	2	2	1	4

### Test Problemi 10

Hata Türü Sebebi	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	RÖG
1	2	4	5	40
2	1	3	5	15
3	1	3	2	6
4	3	8	7	168
5	2	4	3	24
6	2	4	3	24
7	2	3	5	30
8	1	3	3	9
9	8	3	3	72
10	8	3	3	72
11	7	3	3	63
12	8	4	7	224
13	8	6	4	192
14	8	6	5	240
15	8	8	3	192
16	5	7	6	210
17	4	7	6	168
18	3	7	3	63
19	3	6	6	108
20	3	7	2	42
21	4	8	3	96
22	2	7	2	28
23	7	6	5	210
24	3	4	3	36
25	3	5	3	45
26	8	4	7	224
27	9	3	3	81
28	3	3	3	27
29	9	3	7	189
30	3	4	3	36
31	3	3	3	27
32	8	8	3	192
33	9	6	6	324
34	6	3	3	54
35	3	3	3	27

36	8	3	7	168
37	5	4	7	140
38	8	2	3	48
39	8	2	5	80
40	8	4	6	192
41	8	7	7	448
42	8	7	3	168
43	2	3	3	18
44	2	5	3	30
45	8	7	3	168
46	2	3	3	18
47	2	4	3	24
48	5	7	3	105
49	5	3	3	45
50	4	3	3	36
51	4	2	7	56
52	10	5	7	350
53	7	2	3	42
54	5	2	3	30
55	2	4	1	8
56	10	3	7	210
57	3	5	2	30
58	3	2	2	12
59	7	4	5	140
60	3	4	3	36
61	7	3	5	105
62	2	3	1	6
63	3	5	3	45
64	3	4	7	84
65	3	8	9	216
66	10	2	10	200
67	7	2	10	140

## **ÖZGEÇMİŞ**

1978 yılında İzmit' te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmit'te tamamladı. 1996 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü' nden 2000 yılında Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. 2000 – 2003 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans Öğrenimini tamamladı. 2000 yılından beri Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü' nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmakta olup, evlidir.