

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BİR
KABA KÜME UYGULAMASI**

Amin MİRZAPOUR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2010
ANKARA**

Amin MIRZAPOUR tarafından hazırlanan HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİNDE BİR KABA KÜME UYGULAMASI adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa KURT
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mustafa KURT
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Ergün ERASLAN
Endüstri Mühendisliği, Başkent Üniversitesi

Tarih:29/04/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Amin MİRZAPOUR

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BİR
ROUGHSET UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Amin MİRZAPOUR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2010**

ÖZET

Bu çalışmanın amacı potansiyel hata türleri ve etkileri analizinin tanımlanmasıdır. Risk değerlendirme iş sağlığı ve güvenliğinde yaygın bir araç olarak kullanılmaktadır. Bir hatanın ortaya çıkma, olasılığı ve fark edebilirlik analizi ile risk öncelik sayısı (RÖS) belirlenir.

Hata türlerinin eşit risk öncelik sayısına sahip oldukları zaman HTEA belirsizlik taşımaktadır, yani hangi riskin daha önemli oluşuna karar verilmemektedir. bu çalışmada bu problemin çözülebilmesi için bulanık mantık yaklaşımından Kaba küme teorisi kullanılmıştır. Kaba küme belirsizlik altında karar vermek için yeni kullanılmakta olan bir yaklaşımdır.

Bilim Kodu : 906.1.071

Anahtar Kelimeler: HTEA, RÖS, Kaba küme teorisi

Sayfa Adedi : 64

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Mustafa Kurt

**FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS APPLICATION WITH
ROUGHSET
(M.Sc. Thesis)**

Amin MİRZAPOUR

**GAZİ ÜNİVERSİTY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Nisant 2010**

ABSTRACT

The purpose of the present study is to show up failure modes and effect analysis. we knew Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is a widely used method of which aim is risk evaluation in occupational health and safety. With the analysis of failure occurrence probability and failure detection probability factors risk priority number is determined.

In fact, in a FMEA process includes uncertainty, particularly the failure mode having same risk priority number (RPN) this means is: FMEA can not decide which risk is more important. In this study, we selected one of the fuzzy approaches to solve this problem, Rough set theory is a new approach to decision making in the presence of indefiniteness.

Science code : 906.1.071

Key Words : FMEA, RPN, Rough set theory

Page Numbers : 64

Adviser : Prof. Dr. Mustafa Kurt

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımnda bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Farzollah Mirzapoura ve annem Parvin Mirzapour'a teşekkür ederim. Bu tez çalışması sırasında karşılaştığım türlü zorlukların üstesinden gelmemede bana en çok yardımcı olan ve bilimsel anlamdaki kıymetli önerileri ile de bana yol gösteren kişiler danışmanım Prof. Dr. Mustafa KURT ve Yrd.Doç.Dr.Diyar AKAYdır. Kendilerine kıymetli zamanlarını ayırdıkları ve sabırlı bir yaklaşım içinde yol göstererek sonuca ulaşmam için bana yardımcı oldukları için teşekkür ederim.

Yukarıda söz konusu olan her iki hocam kendi açılarından her zaman bu çalışmanın daha verimli olmasını sağlayıp beni daima bilimsel doğruya yönlendirmişlerdir.

Son olarak teker teker Gazi üniversitesinin tüm akademik ve idari personeline gösterdikleri yardımsever tutumları için teşekkürlerimi sunarım.Benzer biçimde Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin bize verdiği fırsattan dolayı ve hazırladığı bilimsel ortam için teşekkürlerimi sunarım, Son olarak değerli Türk halkına misafirperver olmalarından dolayı ve beni ailenin bir ferdi gibi kabullendikleri için minnettarlığımı sonsuza dek saygılarımla sunmaktayım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. SİSTEM GÜVENLİĞİ VE RİSK YÖNETİMİ.....	3
2.1. Sistem Güvenliğinin Gelişmesine Tarihsel Bakış	3
2.2. Güvenlik Sisteminin Üretim Sisteminde Önemi.....	4
2.3. Güvenlik Sistemi ve Geleneksel Güvenlik Yaklaşımının Karşılaştırılması.....	4
2.4. Sistem Güvenliğinin Gelişmesine Tarihsel Bakış	5
3. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ(HTEA)	7
3.1. HTEA Tanımı	7
3.2. HTEA Çeşitleri	8
3.3. HTEA' nın Kalite Sisteminde Önemi	11
3.4. Literatür.....	13
3.5. HTEA Uygulama Adımları	16
3.6. Eski HTEAnın Sorunları	23

	Sayfa
4. KABA KÜME TEORİSİ.....	26
4.1. Ayrışmazlık İlişkileri.....	27
4.2. Yakınsama ve Sınırsal Alan.....	27
4.3. Kaba Üyelik.....	30
5. UYGULAMA.....	32
5.1. ERDEMİR’de İş Güvenliği.....	32
5.2. Problemin Tanımı.....	33
5.3. Uygulamaların Aşamaları.....	34
5.3. Kaba Küme Teorisinin Uygulamasıve Sonuçların Yorumlanması.....	43
5.4.1. Ayrışmazlık ilişkileri.....	44
5.4.2. Yakınsama ve sınırsal alan.....	45
5.4.3. Kaba üyelik.....	46
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
6.1 Çalışmanın Literatüre Katkısı.....	47
KAYNAKLAR.....	48
EKLER.....	49
EK-1 Potansiyel HTEA formu.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. HTEA gelişimi	15
Çizelge 3.2. Ağırlık derecelendirme	19
Çizelge 3.3. Ortaya çıkma derecelendirme	20
Çizelge 3.4. Fark edebilirlik	21
Çizelge 3.5. Örnek 1	22
Çizelge 4.1. Örnek 2	29
Çizelge 5.1. Ağırlık derecelendirme	36
Çizelge 5.2. Ortaya çıkma derecelendirme	37
Çizelge 5.3. Fark edebilirlik	38
Çizelge 5.4. HTEA uygulama	40
Çizelge 5.5. Önlem önceliği yüksek olan hata türleri	44

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kalite sistemi içinde HTEA'nın yeri.....	12
Şekil 3.2. HTEA süreci	17
Şekil 4.1. Evrensel kümesi içinde alttan ve üstten yakınsamalar	28
Şekil 3.2. HTEA süreci	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

€

Ait

∅

Boş küme

μ

Mü

Kısaltmalar

Açıklama

HTEA

Hata türleri ve etkileri analizi

RÖS

Risk öncelik sayısı

MIL-STD 1629 A

Hata türü, etkileri ve kritiklik analizi

Uygulaması için prosedür

HAA

Hata ağacı analizi

KFY

Kalite fonksiyon yayılımı

İPK

İstatiksel proses kontrol

O

Her bir zarar türünün oluşma olasılık değeri

S

Zararın ne kadar önemli olduğunun değeri

D

Zarar meydana getirecek durumun

Keşfedilmesinin zorluk derecelendirilmesi

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın ilk bölümünde sistem güvenliğinden bahs edilmiştir, sistem güvenliğinin önemi, tarihçesi ve üretimdeki yeri ve yeni yaklaşımları üzerinde durulmuştur. Sonra sistem güvenliğinin bir analitik yöntemlerinden olan HTEA anlatılmıştır. HTEA konusunda şimdiye kadar yapılmış olan çalışmalarla ilgili literatür taraması yapılmış ve bu araştırmalarda elde edilen bilgiler açıklanmıştır.

Bir HTEA değerlendirmesine göre HTEA, parçalardaki hataları açıklamaktadır ve bunu RÖS (Risk Öncelik Sayısı) olarak bilinen bir risk derecesi olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemin eksikliği Risk öncelik sayısı ile ilgilidir, orta ve yüksek risk değerleri karşılaştırıldığında HTEA bu indeksi yanlış sıralayabilir olabileceğidir. Geleneksel HTEA eksikliklerinin üstesinden gelmek amacıyla farklı modeller geliştirmiştir. Bu sorunu çözmek için bulanık mantığının yeni bir yaklaşımı tanılan kaba küme kullanılmıştır.

Bu çalışma ile HTEAnın mevcut sürecindeki bulanık sonuçların değerlendirilmesinde bir yöntem olarak kaba küme teorisi ele alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada, bu yöntemin pratikte nasıl uygulandığını öğrenmek için bir uygulama yapılmıştır.

Fabrikada HTEA çalışmasının uygulama başlangıcında HTEA yapılacak prosesler belirlendikten sonra belirlenen hatalardan hangisinin etkisinin daha güçlü olduğunu saptayabilmek için her bir hatanın Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değerleri belirlenmiştir. Belirlenen RÖS değerlerine göre öncelikle önlem alınması gereken hatalar ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca bu çalışmada Hata türü ve etkileri analizinin esnekliğini ve kullanılabilirliğini artırılabilmesi için karar vericiden daha başka dilsel veya sayısal veriler alınır ve bu verilerin oluşturduğu karakteristik yapılar kaba küme teorisi ile incelenerek hata türlerindeki mevcut bulanık durumlar çözüme kavuşturulabilir.

Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde araştırma sonuçlarına yer verilmiştir. Sonuç ve öneriler bölümünde ise, araştırma sonuçlarının genel bir zeti verilerek ilerideki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. SİSTEM GÜVENLİĞİ VE RISK YÖNETİMİ

2.1. Sistem Güvenliğinin Gelişmesine Tarihsel Bakış

Sistem güvenliği ilk ABD uçak ve uzay endüstrisinde kullanıldı, sistem mühendisliği ise II. Dünya savaşıdan sonra gelişmiştir. Sistem mühendisleri, bir sistemi o sistemin tüm parçalarını entegre ederek bütün bir sistem olarak optimize etmeyi hedeflerler, 1950 yılında RAND (amerika savunma bakanlığına bağlı şirketlerden) ekonomik ve stratejik kararı desteklemek için sistem analizi yönetimini geliştirdi, resmi olarak ilk silah güvenlik sistemi (MIL-S-38130A) dır ki 1969 da amerika hava kuvvetleri tarafından sistem güvenlik özellikleri olarak yayınlandı. 1977 de MIL-STD-882A standardı bilgisayar yazılımların devreye girmesiyle güncelleştirildi, 1984 de MIL-STD-882B olarak yenilendi ve 1993 yılında MIL-STD-882C ile standardın yazılımı güvenlik görevlerinin diğer güvenlik görevlerinden ayrılmış olma özelliğine sahip olmuştur.

Ayrıca Kimya ve ilaç gibi bir çok endüstride bu güvenlik standardı uygulanmaya başlanmıştır. Yarı iletken imalat sanayide analitik güvenlik teknikleri, üretim süreçleri ve ekipman tasarımı sırasında kullanılmaya başlanmış, hata maliyetleri üretim kapasitesi, ürün kalitesi ve sonuçta hisse pazarında büyük rol alınmasından dolayı, 1994 yılında Ulusal Güvenlik Konseyi (NSC) tarafından güvenlik kurumu (ISTD), göreve başladı, ISTD kurulmasında NSC üyeleri (General Motors, IBM, Eastern Kodak ve boeing) katkıda bulundu. Ayrıca son tasarım sürecinin bir parçası olarak verilmesi gereken eğitimin çok pahalı olduğu fark edilmiş ve bunun için ISTD tarafından, ilk hedef olarak sağlık, güvenlik ve çevre problemleri, mühendislerin ders programlarına dahil edilmiştir.

Bir güvenlik sisteminin hedeflerinden emin olmak için :

- 1) Sistem içinde emniyet ve görev ihtiyaçları tasarlanır.
- 2) Her sistemde, alt sistem ve ekipmanlardaki tehlikeler belirlenir, değerlendirilir, ortadan kaldırılır ya da kabul edilir.
- 3) Personeli ve teçhizatı korumak amacıyla, tüm teçhizat ve personel de elimine edilemeyen tehlikeler kontrol altına alınır.
- 4) Yeni malzemelerin, yeni üretim ve test ekipmanlarının tehlikelerinin Minimum riske ulaşması sağlanır.
- 5) Sistem güvenliğini güçlendirmek için sistem faktörlerinin satın alınması gibi gelişmelere ihtiyaç duyulur.

2.2. Sistem Güvenliği

Sistem güvenliği iki temel özelliğe sahiptir:

- 1) Yönetim, tehlikeleri bulabilir ve riskleri kontrol eder.
- 2) Yönetim, karar desteğinde, sistem tehlikelerini tanımlar, analiz eder ve bu tehlikelerin nedenlerini değerlendirir.

Yönetim sistem riskinin kabul edilebilir durumda olup olmadığına karar verir ve eğer risk kabul edilebilir durumda değil ise, hangi işin kim tarafından ve ne kadar maliyetle yapılmalıdır sorusuna yanıt arar, Bu görevlerden dolayı yönetim, tüm firma ortaklarının, çalışanlarını, müşterilerinin, tedarikçilerin ve hissedarlarının arasında denge kurmalıdır.

2.3. Güvenlik Sisteminin Üretim Sistem ile Bütünleşmenin Önemi

Eski güvenlik sistem program ile karşılaştığımızda, Güvenlik sistemi programının temel avantajı, endüstrideki yaşam döngüsünde ve gelecekte ortaya çıkabilecek hataların tasarım aşamasında belirlenmiş olabileceğidir,

ancak geleneksel güvenlik sistem programı sadece imalat aşamasında çıkacak hatalarla ilgilenmektedir.

Genellikle endüstride güvenlik operatörü, imalattaki veya proseslerdeki tehlikelerle ilgilenirler. veya tehlikeleri sistemden çıkarma yerine sistem doğasında var olan tehlikelere karşı çalışanların eğitimine önem vermektedirler.

Güvenlik sisteminin gerçek avantajı tehlikeleri yaşam döngüsünün ilk aşamalarında bulabilecek tekniklere sahip olmasıdır. Çünkü, ilk aşamalarda düzeltme yapmak daha az maliyetlidir, ayrıca erken yaklaşım ile daha etkili, az maliyetli ve daha az tehlikeye sahip olunmaktadır.

2.4. Güvenlik Sistemi ve Geleneksel Güvenlik Yaklaşımının

Karşılaştırılması

Güvenlik sistemi, geleneksel endüstri güvenliğine göre kayıplar konusunda daha geniş bir aralığı kontrol eder ve yönetime ortaya çıkacak potansiyel hataların, hedefler ve kaynaklar: işçiler, ürün kalitesi, verimlilik, çevre olanaklar, teçhizat, üzerine ne kadar etkili olabileceğinin değerlendirmesine izin vermektedir.

Güvenlik sistemi bir takım analizlere dayanmakta olup, örneğin: Risk değerlendirmelerinin belirlenmesine destek sağlayan güvenlik sisteminin önemli analitik teknikleri aşağıdaki gibidir;

- Birincil Risk Analizi
- Hata Türleri ve Etkileri Analizi
- Hata Ağacı Analizi
- Olay Ağacı Analizi

- Neden Sonuç Analizi
- Olasılıklı Risk Değerlendirmesi
- Digraph Analizi
- Yönetim Bakışı ve Risk Ağacı
- Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi [Pat ve Clemens., 1998].

Bu yöntemlerin esas amacı sistem içerisindeki riskleri kontrol edebilir düzeylere düşürmektir [Stephans ve Talso, 1997].

3. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA)

3.1. HTEA Tanım

Sistem ve donanım hatalarının etkilerinin belirlenmesi için güvenilir bir değerlendirme tekniği olarak kullanılmıştır [Tomas, 2003]. HTEA bir sistem tasarımı, süreç ya da hizmette meydana gelebilecek hataları birçok yönden inceleyen bir yöntem bilimidir [Stamatis, 1995].

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) disiplini, ABD ordusunda geliştirilmiştir. Hata Türü, Etkileri ve Riskinin Analizi Üzerine Prosedürler olarak adlandırılan Askeri Prosedür MIL-P-1629, 9 Kasım 1949 tarihinde başlatılmıştır.

Hata Türleri ve Etkileri Analizi HTEA genelde, sistemin tehlike yaratan fiziksel öğelerine odaklanmaktadır [Wickens, 1998]. HTEA bunu yaparken öncelikle sistemin alt sistemlere bölünmesiyle başlamaktadır. Sonra bu alt sistemler de kendi içlerinde parçalara ayrılarak her bir parçanın fonksiyonunda meydana gelebilecek olası aksaklık ve bozulmalar üzerinde çalışarak ve sonuçta hata türleri ortaya konulmaya çalışılır [Wickens, 1998].

HTEA son dönemlerde kullanımı gittikçe yaygınlaşan bir tekniktir. Özellikle şu sektörlerde yaygın bir şekilde kullanılan; otomotiv sektörü başta olmak üzere gıda [Scipioni ve ark., 2002], metal [Meidert ve Hansel, 2000], deniz taşıtları imalatı [Pillay ve Wang, 2003], yazılım [Zalewski ve Ark.,2003], nükleer tasarımlar gibi çok çeşitli alanlarda hataların önlenmesine yönelik olarak kullanılmaya başlanılmıştır.

HTEA, ürünlerin ve süreçlerin geliştirilmesinde öncelikli olarak hata riskinin ortadan kaldırmasına odaklanan ve bu amaçla yapılan faaliyetleri belgelendiren bir tekniktir. Bu analiz, önleyici faaliyetlerle ilgilenmektedir.

HTEA'nın esas amacı [Stamatis, 2003];

- Hata /arıza türlerini, etkilerini ve kritiklerini kararlaştırmak,
- Ürünün kritik (tehlikeli) hata/arızalarını belirlemek,
- Hataları, kusurları, arızaları ve kritikleri ortadan kaldırarak veya en aza indirerek; değişiklikleri, yöntemleri ve testleri uygulayarak, ürünü en son mükemmel haline getirmeyi başarmaktır.

HTEA çalışmaları sonucunda [Stamatis, 2003];

- Hata giderilinceye kadar prosenin durması veya devam etmesine karar verilir.
- Hataları önleyecek programlar hazırlanır.
- Makine, tezgah ve proses akışını gerçekleştiren donanımlarda hangi elemanların yenilenmesi gerektiği belirlenir.
- Tasarımda ne gibi değişikliklerin yapılacağına karar verilir.
- İhtiyaç duyulan bakım süresi ve gerek duyulan araç gereci belirlenir.
- Gerekli görülen testler belirlenir.
- Bakım, onarım, kontrol talimatlarında yapılacak değişiklikler belirlenir.

3.2. HTEA Çeşitleri

HTEA tekniği aşağıda sıralanan şekilde bir çeşitliliğe sahiptir ve uygulama alanları her türlü üretim ve hizmet sistemlerini kapsamaktadır.

Sistem HMEA: Sistem ve alt sistemleri analiz ederek, sistemin eksiklerinden doğan sistem fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerini belirlemeye odaklanır. Hedefi, sistemin kalitesini, güvenilirliğini ve korunabilirliğini artırmaktır . Sistem HTEA 'nın faydaları şunlardır:

- Sistemi etkileyen potansiyel problemlerin bulunabileceği alanlar daralır.
- Sistem içerisinde uygulanacak prosedürler için bir temel oluşturulmasına yardımcı olur.

- Sistem içerisindeki fazlalıkların tespit edilmesine yardım eder.
- Optimum sistem tasarım alternatiflerinin seçilmesinde yol gösterir.

Tasarım HTEA: Tasarım hatalarından doğan hata türlerine yönelik olarak üretime başlamadan önce ürünlerin analiz edilmesinde kullanılır. Bu teknik ile sistem veya bileşenlerin güvenilirlik riskleri yazılı hale getirilir, her hata türünün etkisi analiz edilir ve düzeltici faaliyetler yani tasarım değişiklikleri tanımlanır. Hedefi, tasarım kalitesini, güvenilirliğini ve korunabilirliğini artırmaktır. Kısacası, tasarımda mümkün olan tüm hataların belirlenmesi ve fiziksel olarak tanımlanması aşamasıdır (Aran, 2006).

Tasarım HTEA'nın faydaları şunlardır:

- Tasarım geliştirme faaliyetleriyle ilgili önceliklerin belirlenmesi
- Potansiyel hataların tasarım aşamasında iken belirlenmesinin sağlanması
- Potansiyel güvenlik sorunlarının belirlenerek ortadan kaldırılmasına yardım etmesi ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesinin sağlanması
- Önemli ve kritik özelliklerin belirlenmesine yardım etmesi

Tasarım HTEA'nın uygulanması sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılır:

- Potansiyel kritik veya önemli özelliklerin (PHTEA) bir listesi ile potansiyel hata türlerinin Risk Öncelik Sayısı (RÖS) tarafından ağırlandırılmış bir listesi elde edilir.
- Test, kontrol veya teşhis yöntemleri kullanılarak potansiyel parametrelerin listesi belirlenir ayrıca kritik ve önemli özelliklere yönelik, tavsiye edilen potansiyel faaliyetlerin listesi yardımıyla hata türü ve güvenlik sorunlarını ortadan kaldıracak veya hataları azaltacak potansiyel tasarım faaliyetlerinin tespit edilmesi mümkün olabilmektedir.

Proses HTEA: Bu analiz üretim veya montaj prosesindeki eksikliklerden doğabilecek hata türlerini ortadan kaldırmak, üretim ve montaj prosesini analiz etmek amacıyla hizmet etmektedir.

Proses HTEA'nın kullanımının sağladığı yararları şöyle özetleyebiliriz:

Üretim veya montaj prosesinin analizine yardımcı olur, düzeltici faaliyetlerin önceliklerini belirler. Kritik veya önemli olan özellikleri tespit etme de ve kontrol planı oluşturmada yardımcı olur. Proses aşamasında ortaya çıkacak hataları belirler ve düzeltici faaliyetlerle ilgili plan sunar.

Bu tekniğin uygulanmasıyla potansiyel hata veya önemli risklerin bir listesi hazırlanıp, bunlara yönelik öngörülen potansiyel faaliyetlerin listesi yapılır. Potansiyel hata türlerinin risk öncelik sayısı ile belirlenen liste üzerine, bu hata türlerinin sebeplerini ortadan kaldırılıyor.

Servis HTEA: Servis HTEA organizasyondaki aksaklıkların analiz edilmesinde yardımcı olur. Bu analizin uygulanmasıyla; organizasyon faaliyetleri arasında öncelendirme yapılması ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesini sağlar. İş akışının, sistem ve proses analizinin etkin bir şekilde yapılmasında, işteki hataların ve kritik önemli işlerin belirlenmesinde ve kontrol planlarının oluşturulmasında yol göstermesi gibi avantajlar sağlar.

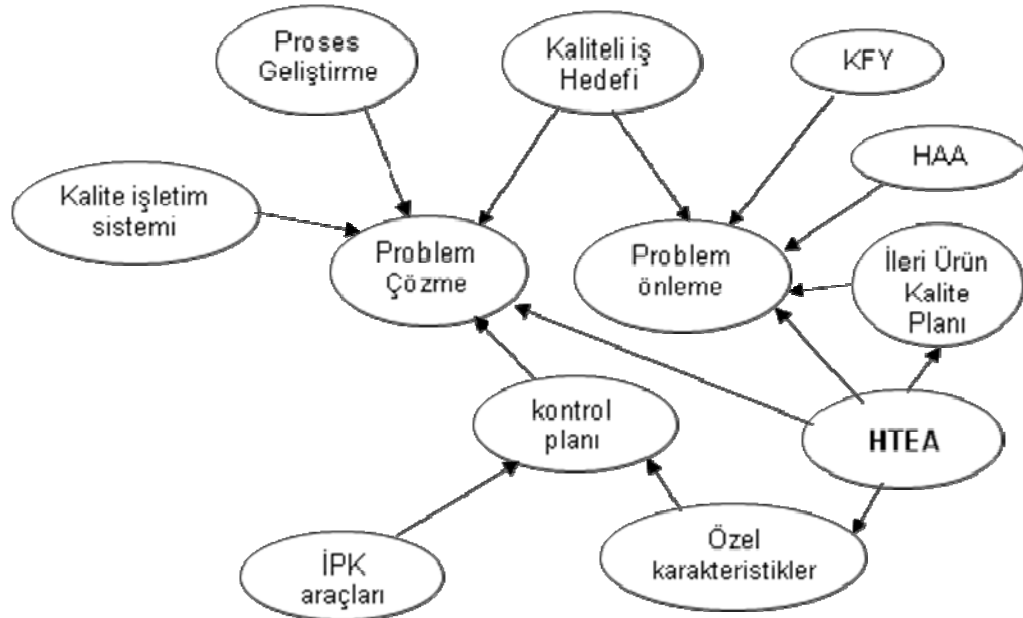
3.3. HTEA' nın Kalite Sistemindeki Önemi

1980'li yılların başından beri kalite alanında yapılan çalışmaların, sistem veya hizmet oluşturulmasının her aşamasında karşılaşılabilecek sorunları belirleyip, ortadan kaldıracak, böylece hem güvenilirliği artıracak, hem de kalitede sürekli iyileştirme sağlayacak teknikler geliştirme üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Sürekli iyileşme, geçmişteki sorunların öğrenilerek, gelecekte onların yeniden ortaya çıkmalarının önlenmesiyle gerçekleşebilecektir, HTEA bu amaca hizmet eden bir tekniktir. Ayrıca HTEA ürünün tasarım veya prosesini geliştirme ve yorumlamada yararlanılabilecek niceliksel bir tekniktir.

HTEA bu özelliklerinden dolayı Toplam Kalite Yönetiminde önemli bir yere sahiptir. Toplam Kalite Yönetiminde kaliteyi üretmek hedeflenir. Burada

kontrol önemli olmakla birlikte kontrol yoluyla hatayı yakalamak, bizi istenen başarıya götürmemektedir. Bunun yerine hatanın oluşum nedenlerine inerek ortaya çıkışını önlemek, dolayısıyla kusursuzluğu hedeflemek gerekmektedir, bu yüzden ki, HTEA tekniği toplam Kalite Yönetiminde önemli bir işleve sahiptir [Kasa ve Boran, 1993]. HTEA, kalite yönetim sistemlerin de önemli bir parçasıdır. [Şekil 3.1] Tipik bir kalite sisteminde HTEA'nın yerini ve görevini göstermektedir, şekilde yer alan tekniklerden bazıları ile HTEA arasındaki ilişkiler aşağıda açıklanmaktadır:

Hata Ağacı Analizi (HAA), grafiksel ve mantıksal olarak normal ve hatalı olası olayların etkilerinin kombinasyonlarını gösterir. HAA ile hata nedenleri ve ortaya çıkma olasılığı bulunarak HTEA çalışmasında yararlanılabilir [Stamatis, 2003].



Şekil 3.1. Kalite sistemi içinde HTEA'nın yeri [Yılmaz, 2000]

Şekil 3.1 de gösterilen kontrol Planı üreticinin belirli bir ürün, proses veya hizmet için kalite planlama faaliyetlerinin yazılı özetidir. Müşteri için önemli olan ve özel önlem gerektiren proses parametreleri ve tasarım karakteristikleri bu planda listelenir. HTEA da kritik ve önemli karakteristikleri belirler ve kontrol planı için başlangıç noktasını oluşturur [Stamatis, 2003].

Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY), müşteri girdilerinin tasarım, imalat ve servise kadar iletilmesinin, biçimi ve benzeyen bir dizi matris kullanarak fonksiyonlar arası bir takım tarafından yapılan bir ürün (hizmet) geliştirme sürecidir. KFY ve HTEA'nın pek çok ortak tarafı vardır. HTEA genellikle, KFY içinde hata önleme aracı olarak kullanılmaktadır, İstatiksel Proses Kontrol (İPK), HTEA'da ortaya çıkma ve saptama değerlerini belirlemede ve hataların saptanmasında kullanılmaktadır.

3.4. Literatür

HTEA otomotiv, havacılık ve elektronik endüstrisinde bilinen potansiyel arızaları ortadan kaldırmak ve sistemdeki hataları dizayndan önce tespit edebilmede yaygın bir araç olarak kullanılmaktadır [Stamatis,1995].

Dizayn mühendisleri potansiyel hataları ve bu hataların kaynaklarını alt sistemler ve parçalar üzerine analiz etmektedirler [Korayem ve İravani, 2007], Bu açıdan HTEA bir sistematik tekniktir ki, hataları meydana gelmeden önce ve potansiyel hata türlerini oluşmadan önce tespit edebilmek için tanımlanmıştır.

Birleşik Devletler Savunma Bakanlığı, otomotiv endüstrisinin faaliyet grubu ve Otomotiv mühendisleri derneği, HTEA standartlarını RÖS risk ve hata ölçmesi için kullanmaktadır, RÖS değeri O, S ve D değerlerinin çarpımıyla elde edilmektedir.

$$RÖS=O \times S \times D \quad (3.1)$$

O: Her bir zarar türünün oluşma olasılık değeri,

S: Zararın ne kadar önemli olduğunun değeri, şiddeti ve ya ciddiyeti,

D: Zarar meydana getirecek durumun keşfedilme zorluğunun derecelendirilmesi [Lange ve Leggett, 2001].

Genelde analizler hata türleri çerçevesinde organize edilir, bunun sebebi ise hatanın nedeni ve etkisi arasında bağlantı kurulmaya çalışılmasıdır. HTEA tasarım süreçlerinde hata risklerinin azaltmasını aşağıdaki gibi desteklemektedir:

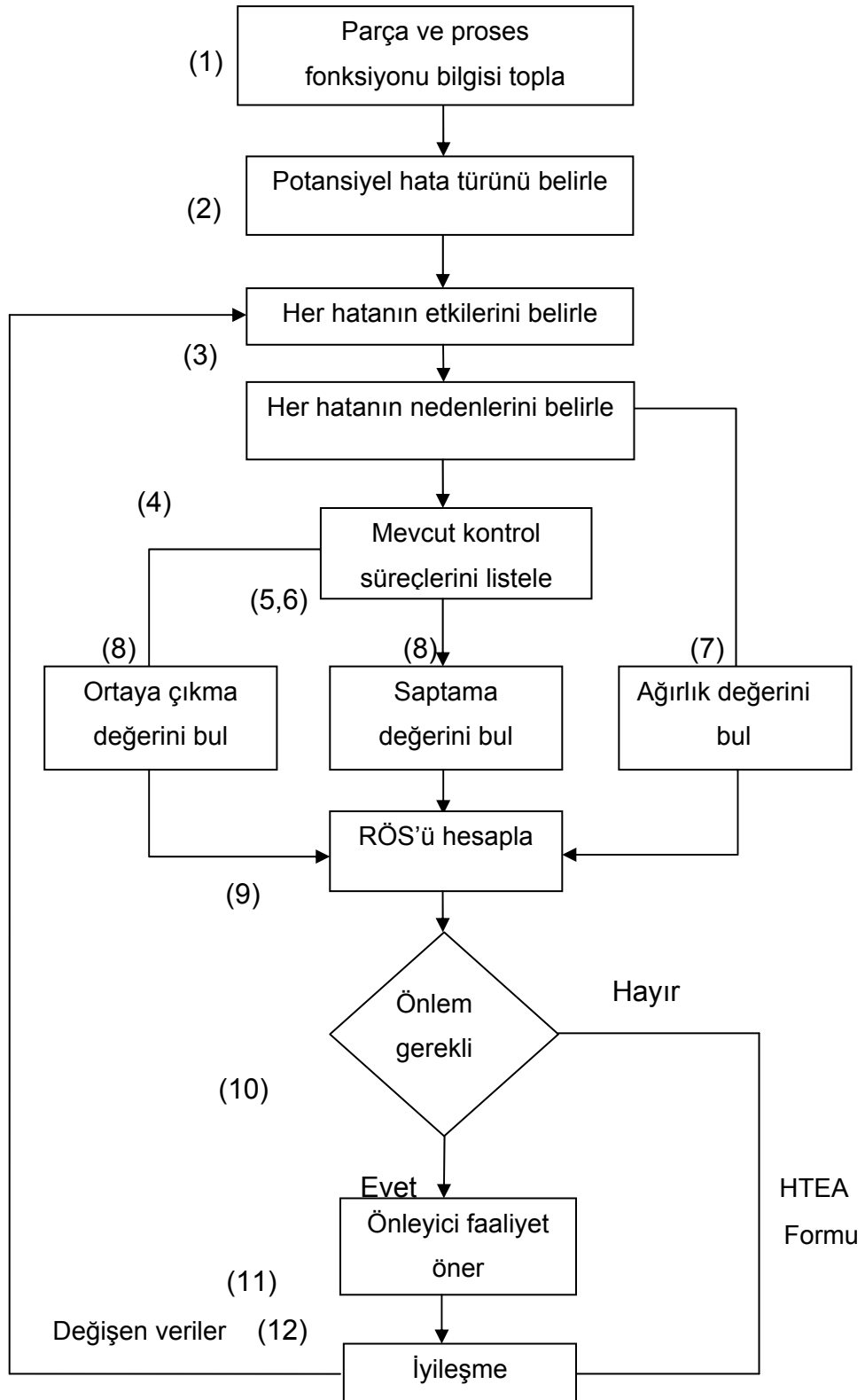
- İmalat, montaj, servis ve geri dönüşümler için ihtiyaçları tasarımın ilk adımlarında değerlendirmektedir.
- Potansiyel hata türleri ve etkilerinin tasarım çalışmalarında düşünülmesini arttırmaktadır.
- Planlamada ek bilgi sağlamak için mükemmel, etkili ve gelişmiş bir programdır.
- Müşteri memnuniyeti için potansiyel hata türlerinin sıralama listesini geliştirmek ve böylece, sistemdeki önceliği, tasarım geliştirmeleri, doğrulama testi ve analizlerinin yapılmasını sağlamak.
- Risk izlemek için açık bir sorun formu hazırlamak ve işlemlerin azaltılmasına yardım etmek.
- İleride referans olmak üzere ilgili alanların analizinde yardımcı olmak ve tasarımdaki değişiklikler ve gelişmiş tasarımları değerlendirmek için kolaylık sağlamak [Korayem ve İravani, 2007].

Çizelge 3.1. HTEA gelişimi

YIL	Kaynak	HTEA gelişimi
1949	Stamatis, 1995	Sistem ve Ekipman Hatalarının Değerlendirilmesi için kullanıldı.
1963	NASA, 1999	NASA ay seyahati programlarında kullandı.
1970	Heisler.H 1995	ABD de enerji krızına karşı araba tasarımında kullandı.
1972- 1975	G. Q. Huang, 2000	Ford Motor ve NEC japon firmalarında ilk kez kullanıldı.
1980	Juran ve Ark, 1980	FIAT firmasında kullanıldı
1988	Xu,. 2001	ABD üç büyük otomotiv şirketi olan Ford, Chrysler ve Genereal Motrors tarafından kabul edilerek genel standart olarak benimsedi.
1990	Chen, 1996	Uluslararası Standartlar Kuruluşu(ISO), tasrım gözden geçirme için İso9000de HTEAyı önerdi .
1993	zakarian,. 2007	AIAG(The Automotive Industry Action Group) ve ASQC (The American Society for Quality Control) tarafından benimsedi.
1996	pillay ve wang, 2003	HTEA hata önceliği için Bulanık Mantığına dayalı yeni teknik sunuldu.
1997	Price ve ark, 1997	HTEA'nın Elektrik sistemleri üzerine uygulamaları
2000	Meidert ve Hansel, 2000	Metal Sektöründe kullandı.
2001	Xu ve Tang,2001	HTEA Bulanık değerlendirilmesini motor sistemleri üzerine sunuldu
2002	Scipioni ve Ark, 2002	Gıda Sektöründe kullandı.
2003	Zalewski ve Ark, 2003	Deniz Taşları İmalatı, yazılım, nükleer tasarım, Güvenilirlik ve Servis gibi çeşitli alanlarda kullandı.
2009	Ebrahimpour,....,2009	Risk Analizinde ve Ontoloji çalışmalarında kullanıldı.

3.5. HTEA Uygulama Adımları

Hata Türü ve Etkileri Analizi uygulamasıyla standart bir uygulama süreci henüz yoktur. Çoğunlukla her işletme kendi organizasyon yapısına göre ve isteklerine göre bir uygulama süreci oluşturmuş ve bunu izlemektedir [Stamatis, 2003]. Uygulama süreçlerindeki farklılıklara rağmen genel bir HTEA prosedürü şu şekilde verilebilir [Pillay ve Wang, 2003] (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. HTEA süreci [Pillay ve Wang, 2003]

1. Sistem çalıştığında tam olarak ne yapılması gerektiği bilinmelidir.
2. Bileşenleri daha iyi anlayabilmek için sistem, alt sistemlere veya parçalara bölünmelidir.
3. Şemalar, akış diyagramları ve benzeri tablolar kullanılarak sistemin bileşenleri ve bu bileşenler arasındaki ilişkiler belirlenmelidir.
4. Her sistem parçası için tam bir bileşen listesi oluşturulmalıdır.
5. Sistemi etkileyebilecek operasyonel ve çevresel faktörler belirlenmelidir. Bu faktörlerin tek bileşenlerin performanslarını nasıl etkilediği belirlenmelidir.
6. Her bileşene ait hata türü ve bu hata türlerinin sistem parçalarını, alt sistemleri ve tüm sistemi nasıl etkilediği belirlenmelidir. Her bir hata türünün etkileri ve bu hataya sebep olan durumlar ortaya konulur, hata türleri, etkileri ve sebeplerinin yanı sıra bazı çalışmalarda her sebebe karşılık gelen mevcut veya uygulanması düşünülen kontroller de analiz formlarında bir sütun halinde yer alır [Stamatis, 1995].

Çizelge 3.2. Ağırlık derecelendirme [Pillay ve Wang 2003]

Ağırlık	Derece
Neredeyse Hiç	1
Düşük	2
	3
Orta	4
	5
	6
Yüksek	7
	8
Çok Yüksek	9
	10

7. Her hata türünün oluşma olasılık değeri tahmin edilmelidir. Hata türlerinin tespitinde bir takım olasılıklardan yararlanılmaya çalışılır, müşterinin neyi Kabul etmeyebileceği ya da bir parça operasyonda niçin red edilebilir veya bu parça veya proses istenen özellikleri karşılamada nasıl hata yapılabilir gibi[Çizelge 3.3].

Çizelge 3.3. Zararın oluşma olasılığı

Ortaya Çıkma İhtimali	Derece	Hataa İhtimali(İşgünü Olarak)
Nerdeyse hiç	1	< 1:20,000
Düşük	2	1:20,000
	3	1:10,000
Orta	4	1:2,000
	5	1:1,000
	6	1:200
Yüksek	7	1:100
	8	1:20
Çok Yüksek	9	1:10
	10	1:2

8. Hata türünün etkileri ve sebeplerin tanımlanma ihtimali tahmin edilmelidir. Somut istatistiksel verilerin olmadığı durumlarda bu ihtimal kalitatif yöntemlerle saptanabilir [Çizelge 3.4].

Çizelge 3.4. Fark edebilirlik

Yakalama	Yakalama Kriterleri	Puan
Kesin Belirsiz	Olası hataları tespit etmek imkansız	10
Çok Uzak	Olası hataları tespit etmek çok zor	9
Uzak	Uzak bir olasılıkla yakalanabilir	8
Çok Düşük	Çok düşük bir şansla yakalanabilir	7
Düşük	Düşük bir şansla yakalanabilir	6
Orta	Orta şans	5
Ortanın Üstü	Ortanın üstünde olasılıkla	4
Yüksek	Yüksek bir olasılıkla	3
Çok Yüksek	Çok yüksek bir olasılıkla	2
Neredeyse Kesin	Hemen hemen kesin olarak ortaya çıkar	1

9. Ortaya çıkma, ağırlık ve saptanabilme değerleri belirlendiğinde her hata türü için Risk öncelik sayısı (RÖS) hesaplanabilir. 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, bu ve benzeri tablolar ekibe bir fikir vermesi açısından önemlidir [Stamatis, 1995].
10. RÖS değerine bakılarak önlem alınması gereken hata türleri kararlaştırılmalıdır.
11. Sistem performansını arttırmak için hata türü ile ilgili çözüm önerileri geliştirilmelidir. Bu öneriler iki kategoriye ayrılır, önleyici Faaliyetler: Bir hata durumunun önüne geçmek amaçlanır. Düzeltici Faaliyetler: Hata ortaya çıktığında kayıpları en aza indirmek amaçlanır.
12. Analiz özetlenir. Bunun için HTEA formları kullanılır [Ek 1]. Bu ölçülere göre analizler yapılır ve sonuçlar risk tablosuna kaydedilir.

Sonuçta kritik sayılar ortaya çıkarılır ve kritik olayların meydana gelmeleri önlenmeye çalışılır, RÖS katsayısının en büyük değerinden başlanarak önlemlerin alınmasına başlanır, çünkü en büyük zararlar RÖS'nin en büyük değerlerine denk gelmektedir. HTEA metodu ile gerçekleştirilen çalışmalar çok yararlıdır; çünkü sistemin içindeki aksaklıkların neler olduğu ve sistemin çalışması ile ilgili bilgi sağlar. Analist, sistematik yaklaşımdan dolayı sistemin nasıl çalıştığını anlama hususunda daha doğru bilgiye sahip olur.

3.6. Eski HTEA nın Sorunları

Tasarımcılara yardımcı bir araç olarak piyasaya sunulmasından bu yana HTEA geniş bir aralıkta kullanılmıştır [Stamatis, 1995], [Hatty ve owens,

1995], [Bowles, 1998] ve çok sayıda, çeşitli teknolojik ve hizmet alanlarındaki yayınlar da bunu kanıtlamaktadır [Hatty ve Owens 1995].

Tasarımcılar HTEA da iki önemli yönü algıladılar;

- Tasarımında sürekli iyileştirme kavramının uygulamaya teşvik yeteneği
- Düzenli tasarım gelişimini belgeleme imkanına sahip olması [Franceschini ve Rossetto 1995].

HTEA, bir firmanın tasarım aşamasında, zayıf noktalarını tespit etmesi için yararlı bir araçtır. HTEA, tasarımdan itibaren, mümkün olduğu kadar erken başlamalıdır, böylece zayıf noktalar erken keşfedilebilir. [Blanchard, 1998]. Tasarım değişikliklerinden daha yüksek masraflar gerekçesiyle kaçınılmalıdır. Bu nedenle, HTEA çok olasılıklı güvenlik değerlendirmelerin bağlamında önemlidir [IAEA, 2002].

Geleneksel yaklaşımda olasılık güvenlik değerlendirmesine göre hata türü, parçalardaki hataları açıklamaktadır, üç endeksli açıklanan ürünün risk öncelik sayısı olarak bilinen bir risk derecesi verilir. Geleneksel HTEA eksikliklerin üstesinden gelmek amacıyla farklı modeller geliştirmiştir. Bu yöntemin eksikliği Risk öncelik numarası ile ilgilidir [Bowles ve Bonnell, 1998]. Orta ve yüksek risk değerleri karşılaştırıldığında HTEA bu indeksi yanlış sıralayabilir.

Örnek: Bir hata türünün çıkabilme indeksi ile, şiddet indeksi ve bir algılama indeksinin eşit 4 ise RÖS, 64 e eşit olur. Diğer bir örnekte ise bu değerler 2, 10, ve 1e sahip olsaydı, RÖS 20ye eşit olur. Dikkatli bir HTEA analizinde, ilki felaket olmamasını gösterirken, ikincisi felaket sayılır.

Çizelge 3.5. Örnek1

Faaliyet tanımı	Olası İstenmeyen Sonuç	Olasılık	Şiddet	Farkedilebilirlik	RÖS
X	K	4	4	4	64
y	L	2	10	1	20

Eğer yalnızca, RÖS hesaba alınırsa, İlk hata türü ikinciden daha yüksek sırada olur. RÖS' nin eksikliği onun tamamen farklı özelliklere sahip hata türlerinin tekrarlanmasıyla ilgili olmasıdır.

Örnek: Bir RÖS, 64e eşit çıkacak şekilde, 10 farklı, O, S, D kombinasyonlarla elde edilebilir, eksikliği ise 1ve 1,000 arasındaki bazı numaralar üç sayının çarpılmasıyla elde edilemez [Bowles, 2003].

Bir diğer eksikliği ise normal HTEA da P, S, D hepsinin aynı öneme sahip olduğu var sayılıp ve HTEA sürecinin pratik uygulamasında doğru olmamasıdır. Başka bir RÖS eksikliği ise zorluğudur. Çoğunlukla yeni tasarımlarda hata türleri çıkabilme ihtimalinin üzerinde bilgi alınması zordur. Uzman görüşleri bu durumda kabul edilir ve bu konudaki uzman görüşlerini dikkate almak amacıyla bazı araştırmacılar, bulanık mantığını kullanmıştır [Pillay ve Wang, 2003]. Böylece HTEA bir sıralama kurmak için uzmanların görüşünü, dilsel değişkenler olarak dikkate alır, ayrıca belirsizlikler bu değişkenler ile ilişkili olarak dikkate alınır [Bowles, 2003].

Bulanık küme teorisi [Zadeh, 1987] ve özellikle bulanık mantık sistemi bu durumda uygulanacak uygun bir yaklaşımdır. [Pelaez and Bowles] ve [Moss and Woodhouse] İlk kez kritiklik analizi için bulanık mantığı teorisinin kullanmasını önerdiler. Bu makalelerde doğrudan bulanık kontrol teorisi uygulanır.

HTEA Bulanık modelleme teknik değerlendirilmesi motor sistemleri üzerinde ilk kez [XU ve tang,.2001] tarafından yapıldı. [Guimaraes ve Lapa, 2004] Bulanık HTEA uygulamasını kimya, ses kontrol ve nükleer sistemlerinde yaptılar.

4. KABA KÜME TEORİSİ

Son yıllarda matematik ve bilimde incelenen konular arasında belirsizlik ve bulanıklık belki de en çok incelenen alanlardır. Belirsizliği istenilmeyen bir durum olarak gören ve mümkün bütün durumlarda kaçınılması gerektiğine inanan geleneksel anlayıştan, belirsizlikle uğraşan ve bilimde bundan kaçınılmasının mümkün olmadığını iddia eden alternatif bakış açısına doğru dereceli bir geçiş ortaya konulmaktadır. Belirsizlik problemleri için matematikçiler, mantıkçılar ve filozoflar uzun bir süredir uğraşmaktadırlar. Son zamanlarda bu tür problemler bilgisayar ve yapay zeka ile ilgilenen bilim adamları için çok önemli olmuştur.

1930 larda ünlü filozof Max Black tarafından belirsizliği açıklayıcı öncü kavramlar geliştirilmiş olsa bile, bugün 1965te Zadeh tarafından yapılan çalışmalar modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir nokta olarak kabul edilir. Zadeh, çalışmalarında kesin olmayan sınırlara sahip nesnelerin oluşturduğu bulanık küme teorisi üzerinde durmuştur.

Bulanıklığı yeni bir yaklaşım olarak, Zdzislaw Pawlak tarafından da 1982 yılında önerilen kaba küme felsefesi evrensel kümedeki her elemanın kendine ait bir bilgi olduğu varsayımına dayanmaktadır. Örneğin elemanların hastalar olduğu bir küme düşünelim. Hastalıklara ait Semptomlar ise bu hastalara ait bilgileri oluşturacaktır. Benzer bilgiler ile karakterize edilen hastaların benzer oldukları mevcut bilgiler ile ortaya konacaktır.

İşte bu ayrışmazlık ilişkileri kaba küme teorisinin matematiksel temelini oluşturmaktadır. Bununla birlikte kaba küme yaklaşımında ayrışmazlık niteliklerinin incelenmesine dayanmaktadır.

4.1. Ayrışmazlık İlişkileri

Ayrışmazlık ilişkileri literatürde şu şekilde tanımlanmaktadır (pawlak, 1997) :

- U , elemanlara ait evrensel küme; A , niteliklere ait sonlu küme olsun.
- Her $a \in A$ için V_a , fonksiyonu ise evrensel kümeye ait elemanların almış oldukları nitelik değerleri olsun,

O halde x ve y gibi herhangi iki eleman için ayrışmazlık:

$$I(B) = \{ (x,y) \in U \times U : fa(x) = fa(y), \text{ Her } a \in B \} \quad (4.1)$$

$I(B)$ ayrışmazlık ilişkisine ait gruplar $U/I(B)$ veya kısaca U/B olarak gösterilecektir.

X elemanına ait sınıflar ise $I(B)(x)$ veya kısaca $B(x)$ olarak gösterilecektir. U/B gösterimi ayrıca B -temel kümeleri olarak tanımlanmaktadır.

4.2. Yakınsama ve Sınırsal Alan

Yakınsama kavramı bir elemanın herhangi bir temel kümeye üyeliliğinin kesinliği ile ilgilenmektedir. B_* , alttan yakınsamayı ifade ederken, B^* üstten yakınsamayı ifade etmektedir.

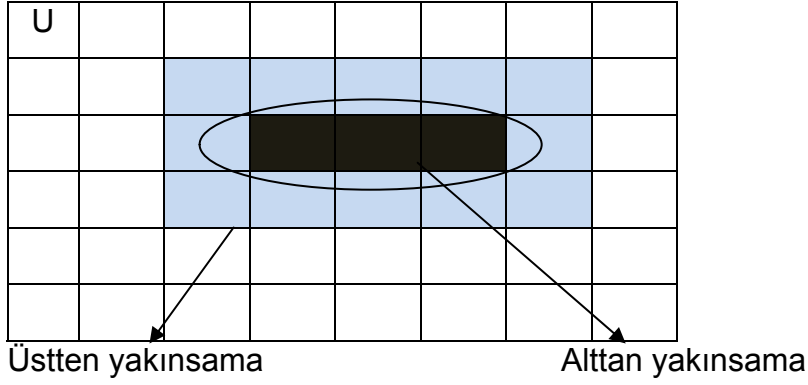
Her hangi bir X kümesi düşünüldüğünde

- X e alttan yakınsayan (B_*) ile kastedilen, kesinlikle X e ait elemanlar,
- X e üstten yakınsayan (B^*) ile kastedilen, muhtemelen X e ait elemanlardır.
- Sınırsal alan (BN_B) ise, yukarıdaki her iki gruba ait elemanların arasındaki fark ile elde edilen elemanları içermektedir.

$$B_*(X) = \{x \in U : B(x) \subseteq X\} \quad (4.2)$$

$$B^*(X) = \{x \in U : B(x) \cap X \neq \emptyset\} \quad (4.3)$$

$$BN_B(X) = B^*(X) - B_*(X) \quad (4.4)$$



Şekil 4.1. Evrensel kümesi içinde alttan ve üstten yakınsamalar [Pawlak ve Skowron, 2007]

Örnek: $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$ objelerin kümesi, $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ değişkenlerin kümesi ve $V_1 = \{1, 2, 3\}$, $V_2 = \{1, 2\}$, $V_3 = \{1, 2, 3, 4\}$ kümeleri de her bir değişkenin aldığı değerlerin kümesini gösterebilir. Yukarıda verilen 10 obje için elde edilen üç sonucu bir matris formunda aşağıdaki gibi verelim. Ayrıca bu sistem için f_a fonksiyonu tablodaki gibi verilmiştir.

Çizelge 4.1. Örnek 2 [Walczak ve Massart, 1998]

U	a ₁	a ₂	a ₃
X ₁	2	1	3
X ₂	3	2	1
X ₃	2	1	3
X ₄	2	2	3
X ₅	1	1	4
X ₆	1	1	2
X ₇	3	2	1
X ₈	1	1	4
X ₉	2	1	3
X ₁₀	3	2	1

Çizelge 4.1 e göre $f_{a_1}(x) = V_1$, $f_{a_2}(x) = V_2$ ve $f_{a_3}(x) = V_3$ olarak elde edilir. $R(x)$, x_i elemanının denklik sınıfını göstermek üzere tanımlansın. Buna göre

$$R(x_1) = R(x_3) = R(x_9) = \{x_1, x_3, x_9\}$$

$$R(x_2) = R(x_7) = R(x_{10}) = \{x_2, x_7, x_{10}\}$$

$$R(x_4) = \{x_4\}$$

$$R(x_5) = R(x_8) = \{x_5, x_8\}$$

$$R(x_6) = \{x_6\}$$

Bu ayrışmazlık ilişkileri burada sadece üç nitelik ile ilgili olarak yazılmıştır, yani a_1, a_2, a_3 için. Eğer mesela a_2 ve a_3 için yazılıysaydı o zaman sonuçlar daha farklı olurdu. problemde hangi nitelikler daha önem taşıyorsa ona göre ayrışmazlık ilişkileri yazılacaktır.

şeklinde hesaplanır. Bu denklik sınıflarından yararlanarak U nun $X = \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_9\}$ alt kümesi için alt yaklaşımı, üst yaklaşımı ve alt kümesinin sınırını bulalım.

$$B^*(X) = \{x_1, x_3, x_4, x_9\}$$

$$B^*(X) = \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_8, x_9\}$$

$$BN_B(X) = B^*(X) - B^*(X) = \{x_5, x_8\}$$

4.3. Kaba Üyelik

X in eleman sayısını göstermek üzere yaklaşımlı üyelik fonksiyonu Eş.4.6 şeklinde tanımlanmaktadır. Yaklaşımlı üyelik fonksiyonu x in X e ait olmasının şartlı ihtimalini ve B tarafından x hakkında verilen bilgi göz önünde tutularak x in X e ait olma derecesini açıklar. Kaba üyelik fonksiyonu ayrışmazlık ilişkileri de göz önünde bulundurularak şu şekilde tanımlanmaktadır [Pawlak, 1997]:

$$\mu_x^B(x) = \frac{|X \cap B(x)|}{|B(x)|} \quad (4.5)$$

$$\mu_x^B(x) \in [0, 1] \quad (4.6)$$

Üyelik fonksiyonu doğal olarak 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Kaba üyelik fonksiyonu yakınsamaların da tanımlanmasında aşağıdaki şekilde kullanmıştır:

$$B^*(X) = \{x \in U : \mu_x^B(x) = 1\} \quad (4.7)$$

$$B^*(X) = \{x \in U : \mu_x^B(x) > 0\} \quad (4.8)$$

$$BN_B(X) = \{x \in U : 0 < \mu_x^B(x) < 1\} \quad (4.9)$$

Alttan yakınsama ($B^*(X)$) ya ait üyelik fonksiyon değeri 1 iken, üstten yakınsama ($B^*(X)$) ya ait üyelik fonksiyon değeri ise 0 ile 1 arasındadır. Ayrıca sınırsal bölgenin üyelik fonksiyon değeri yine 0 ile 1 arasındadır.

5. UYGULAMA

5.1. ERDEMİR’de İş Güvenliği

1965 yılında üretime başlayan ERDEMİR, bugün ulaştığı 3,5 milyon ton/yıl düzeyinde ham çelik üretim kapasitesi ile halen Türkiye'nin en büyük demir çelik kuruluşu ve tek entegre yassı çelik üreticisidir. Uluslararası kalite standartlarında levha, sıcak ve soğuk haddelenmiş sac ile kalay, krom ve çinko kaplamalı sac üretmektedir.

ERDEMİR bir ağır sanayi kuruluşu olduğu için işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda oluşabilecek riskler, diğer birçok sektörden daha fazladır. Nitekim 2005 yılında “0 iş kazası” hedefi konmuş olup, iş güvenliğinin sağlanması şirketin ana hedefi olarak belirlenmiştir. Bu gerçeklerden yola çıkacak olursak, İş Güvenliği HTEA uygulanması yoluyla ERDEMİR’de büyük fayda sağlanacağı düşünülmektedir. Konu uygulama, ERDEMİR’in ara proseslerinden sıcak haddelemenin gerçekleştirildiği 1.Sıcak Haddehane’de gerçekleştirilmiş olup olumlu sonuçların alınmasıyla birlikte standartlaştırılarak şirket çapında yaygınlaştırılması düşünülmüştür.

ERDEMİR’de faaliyet göstermekte olan Maliyet ve Verimler Müdürlüğü koordinasyonunda, 9 işletme ünitesi ile 9 yardımcı üniteye her birimden birer mühendis veya başmühendisin katılımıyla oluşturulmuş olan Maliyet Çalışmaları Yönetim Ekibi bulunmaktadır. İşte 1.Sıcak Haddehane bünyesinde kurulmuş olan ve işletme, mekanik bakım ve elektrik bakımdan temsilcilerin bulunduğu Ekip, HTEA uygulamasına girdi teşkil edecek tehlikeleri tespit ederek, bunların olasılık, şiddet ve yakalanabilirliğini ortaya koymuştur.

5.2. Problemin Tanımı

1.Sıcak haddehanede iş güvenliği açısından incelenmiş olup, yönetim kademesine yapılacak olan çalışmanın kısa bir brifingi verilmiştir.Bu brifingde iş süreçlerinde meydana gelen kazaların yanında olası kaza merkezlerinin de inceleneceği anlatılmış; bu incelemeyi takip eden aşamada yönetimden hata türü ve etkileri analizinin puanlandırılmakısmında yardım alınacağıın altı çizilmiştir. Çalışma sonucunda 1.Sıcak Haddehane bünyesinde belirlenen toplam 34 adet tehlike ortaya konmuştur. Daha sonra bu tehlikelerin olasılık (D), şiddet (O) ve yakalanabilirlik (S) puanları 1 ile 10 arasında derecelendirilmiştir. Sonuçta da bu katsayıların birbiriyle çarpılması ile her bir tehlikeye ait Risk Öncelik Sayısı (RÖS) bulunmuştur (Çizelge 5.4).

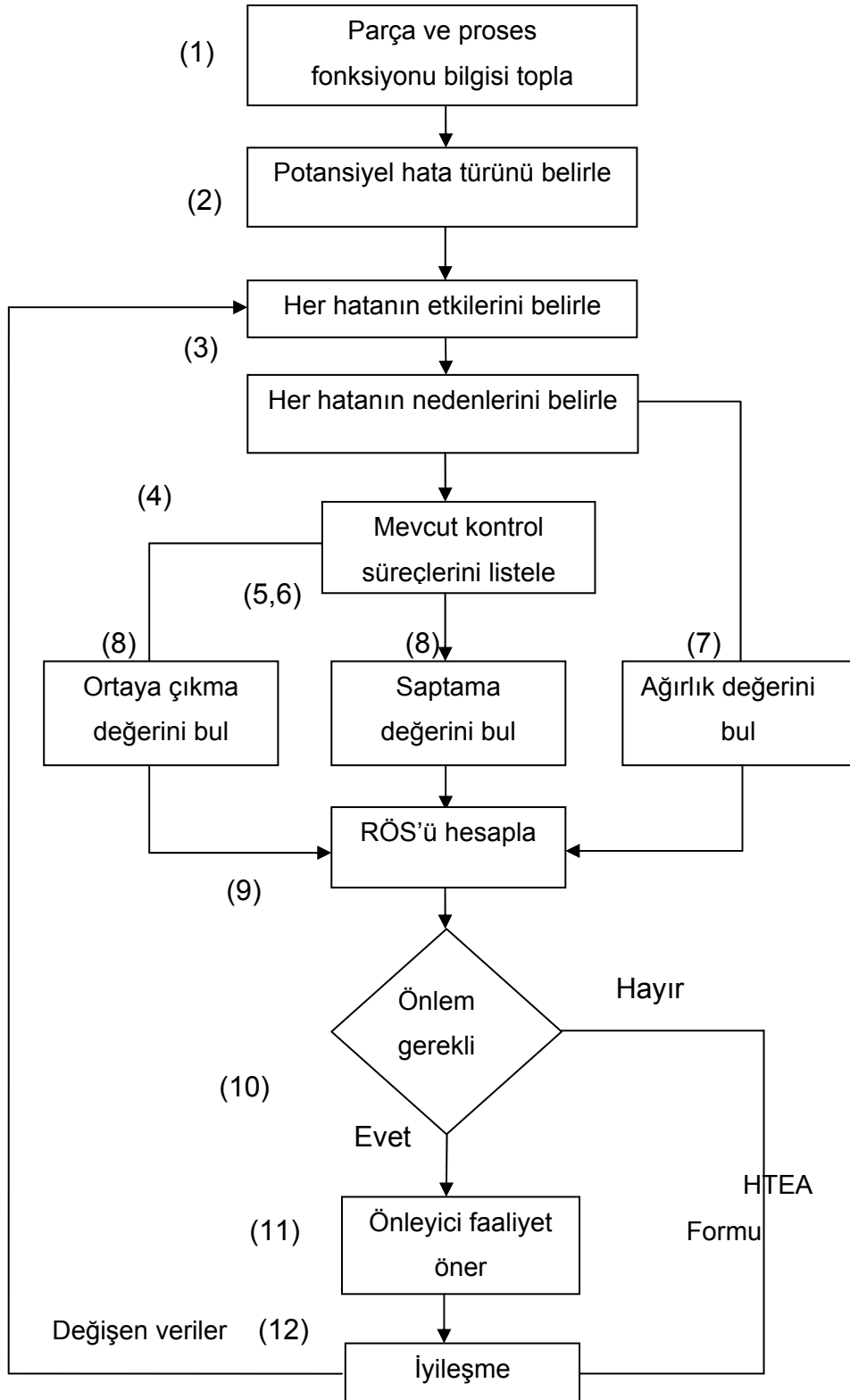
Ancak ilk aşamada yapılan puanlama sonucu elde edilen risk öncelik sayılarının belirsizlik taşıdığı görünmektedir. Risk öncelik sayısı elde edilirken olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik puanları doğrudan çarpılmaktadır. 10 lu skalalarla yapılan bu çarpımlarda bazı hata türleri için eşit risk öncelik sayıları elde edilmiştir. Bu noktada, eşit puana sahip iki hata türünden hangisine gerçekten tedbir alınması gerektiği belirsizdir.

Diğer taraftan karar vericiler tarafından belirlenen bir irsk öncelik sayısının üzerinde kalan her durum için önlem alınması kaynakların israfına neden olacaktır. Bu halde hangi durumlarda tedbir alınacağı sadece risk öncelik sayılarının analizile bulunamaz .Ortada bir bulanıklık söz konusudur.

Bu bulanık durumun aşılmasında HTEA yanında başka bir teorinin de kullanılması düşünülmüştür. 1980 lerin başında Pawlak tarafından ortaya atılan Kaba Küme Teorisi bu bulanıklık problemin çözümünde kullanılmıştır.

5.3. Uygulamanın Aşamaları

Uygulamanın temel aşaması Şekil 3.1deki akış şemasında gösterilmiştir. Şemada da belirtildiği gibi, çalışma öncelikle kritik iş adımının seçilmesi ile başlamakta, sonra sırasıyla, hata türünün belirlenmesi, etkilerin belirlenmesi, olası sonuçların belirlenmesi, olası nedenler, olasılık değeri, şiddet, fark edilebilirliği ve risk öncelik sayısının hesaplanması ile ilk aşama tamamlanmaktadır.



Şekil 3.2. HTEA süreci [Pillay ve Wang, 2003]

Daha sonra, yukarıda belirtildiği gibi, belirsizliğin aşılmasında karar vericiye hata türlerine karşı alınacak tedbirler için önlem öncelik durumları sorulmuştur. Alınan cevaplara göre risk değerlendirme tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 5.4).

Risk öncelik sayılarının bulunmasında standart tablolar kullanarak bu tablonun karar verici tarafından doldurulması sağlanmıştır.

Çizelge 5.1. Ağırlık derecelendirme [Pillay ve Wang 2003]

Ağırlık	Derece
Neredeyse Hiç	1
Düşük	2
	3
Orta	4
	5
	6
Yüksek	7
	8
Çok Yüksek	9
	10

Çizelge 5.2. Orta çıkma derecelendirme [Pillay ve Wang 2003]

Ortaya Çıkma İhtimali	Derece	Hataa İhtimali(İşgünü Olarak)
Nerdeyse hiç	1	< 1:20,000
Düşük	2	1:20,000
	3	1:10,000
	4	1:2,000
Orta	5	1:1,000
	6	1:200
	7	1:100
Yüksek	8	1:20
	9	1:10
Çok Yüksek	10	1:2

Çizelge 5.3. Fark edebilirlik [Pillay ve Wang 2003]

Yakalama	Yakalama Kriterleri	Puan
Kesin Belirsiz	Olası hataları tespit etmek imkansız	10
Çok Uzak	Olası hataları tespit etmek çok zor	9
Uzak	Uzak bir olasılıkla yakalanabilir	8
Çok Düşük	Çok düşük bir şansla yakalanabilir	7
Düşük	Düşük bir şansla yakalanabilir	6
Orta	Orta şans	5
Ortanın Üstü	Ortanın üstünde olasılıkla	4
Yüksek	Yüksek bir olasılıkla	3
Çok Yüksek	Çok yüksek bir olasılıkla	2
Neredeyse Kesin	Hemen hemen kesin olarak ortaya çıkar	1

Hata türünün olasılığı, şiddeti ve fark edilebilirlik dereceleri Çizelge 5.1-Çizelge 5.3'e göre verilmiştir. Karar vericinin deneyimi risk öncelik sayılarının oluşturulmasında kullanmıştır ve hata türünün özellikle şiddet ve fark edilebilirlik derecelerinin belirlenmesinde etkili olmuştur ve böylece risk öncelik sayısı oluşturulmuştur. Diğer taraftan önlem öncelik durumları içinde karar verici tarafından “yüksek”, “orta” ve “düşük” gibi ifadeler kullanmıştır.

Çizelge 5.4. Hata türü ve etkileri analizi

RISK DEĞERLENDİRME TABLOSU							Tarih:		
No	Faaliyetin Tanımı	Faaliyet Sırasında Oluşabilecek Tehlikeler	Olası İstenmeyen Sonuç	Mevcut Önlemler	Olasılık	Şiddet	Farkedilebilirlik	RÖS	Önlem Öncelik Durumu
1	Fırın penceresinden fırın içi kontrolü	Yüksek ışımaya	Göz hastalıkları problemleri	İzabe gözlüğü kullanımı	5	4	7	140	Orta
2	Fırın penceresinden fırın içi kontrolü	Yüksek sıcaklık	Sıcağa maruz kalma	Siperlik, ısıya dayanıklı eldiven kullanımı; gözetleme penceresine çok yanaşmama	2	6	4	48	Düşük
3	Fırın penceresinden fırın içi kontrolü	Gaz (kok gazı)	Gaza maruz kalma	Gaz maskesi kullanımı	2	10	6	120	Orta
4	Fırın gaz sistemi kontrolü	Gaz (kok gazı)	Gaz kaçağı olması	Gaz maskesi kullanımı, en az iki kişiyle yapılması, yakıcı madde ile yaklaşılmaması, gaz detektörü kullanımı, periyodik temizlik	3	10	7	210	Orta

Çizelge 5.4 (Devam) Hata türleri ve etkileri analizi

No	Faaliyetin Tanımı	Faaliyet Sırasında Oluşabilecek Tehlikeler	Olası İstenmeyen Sonuç	Mevcut Önlemler	Olasılık	Şiddet	Farkedilebilirlik	RÖS	Önlem Öncelik Durumu
5	Fırın fanlarının kontrolü	Hareketli ekipman	Ekipmanın kontrol dışı çalışmaya başlaması	Fan kaplinlerine muhafaza takılması, operatörle haberleşme	3	7	6	126	Orta
6	Fırın tavan kontrolü	Fırın tavanı	Tavan çökmesi	Yürüme platformunun kullanılması	4	9	8	288	Düşük
7	Fırın tavan kontrolü	Yüksekte çalışma	Yüksekten düşme	Yürüme platformunun kullanılması, platformların aydınlatılması	3	10	7	210	Yüksek
8	Masa, merdane ve zincirlerin kontrolü	Hareketli ekipman	Ekipmanın kontrol dışı çalışmaya başlaması	Operatörle haberleşme, enerji kesme, emniyet kartı, kontrol ve yürüme platformlarının kullanılması	2	6	4	48	Düşük
9	Masa, merdane ve zincirlerin kontrolü	Düzensiz olmayan zemin	Düşme	Yürüme ve kontrol platformlarının kullanılması	7	5	5	175	Orta
10	Masa, merdane ve zincirlerin kontrolü	Tufal	Tufal sıçraması sonucu yaralanma	Descal etki alanından uzak durma	3	4	8	96	Orta

Çizelge 5.4 (Devam) Hata türleri ve etkileri analizi

No	Faaliyetin Tanımı	Faaliyet Sırasında Oluşabilecek Tehlikeler	Olası İstenmeyen Sonuç	Mevcut Önlemler	Olasılık	Şiddet	Farkedilebilirlik	RÖS	Önlem Öncelik Durumu
11	Slab itici ram ve asansör kontrolü	Hareketli ekipman	Ekipmanın kontrol dışı çalışmaya başlaması	Operatörle haberleşme, enerji kesme ve emniyet kartı kullanımı	2	6	6	72	Orta
12	Slab itici ram ve asansör kontrolü	Gaz (kok gazı)	Gaza maruz kalma	Gaz maskesi kullanımı	2	9	8	144	Orta
13	Slab tufal temizliği	Toz (demir tozu)	Toza maruz kalma	Gözlük ve maske kullanımı	6	7	7	294	Düşük
14	Yan korkulukların kontrolü	Düzensiz olmayan zemin	Düşme	Kalas üzerinde çalışma	7	8	5	280	Yüksek
15	Fırın içi şarj kontrolünün yapılması	Yüksek ışınım	Göz hastalıkları problemleri	İzabe gözlüğü kullanımı	2	6	4	48	Düşük
16	Fırın içi şarj kontrolünün yapılması	Yüksek sıcaklık	Sıcağa maruz kalma	Siperlik, ısıya dayanıklı eldiven kullanımı	2	6	8	96	Orta
17	Fırın içi şarj kontrolünün yapılması	Gaz (kok gazı)	Gaza maruz kalma	Gaz maskesi kullanımı	1	9	6	54	Düşük
18	Kalibrasyon (manuel ölçü alımı gerektiren)	Düzensiz olmayan zemin	Düşme	Kalas üzerinde çalışma	5	4	7	140	Yüksek
19	Fırın çıkış slab düşme şutunun kontrolü	Yüksek sıcaklık	Sıcağa maruz kalma	Siperlik, ısıya dayanıklı eldiven kullanımı	2	6	4	48	Orta
20	Yan korkulukların kontrolü	Düzensiz olmayan zemin	Düşme	Kalas üzerinde çalışma	7	8	5	280	Yüksek

5.4. Kaba Küme Teorisinin Uygulaması ve Sonuçların Yorumlanması

Kaba küme teorisinin ele alınmasının nedeni yukarıda da belirtildiği gibi iş adımlarında meydana gelen ve gelebilecek hata türlerine ait karar vericilerin vermiş olduğu puanlar neticesinde belirlenen risk öncelik sayılarındaki bulanıklıktır.

Açıkça ifade etmek için, 1 no.lu hata türünün sahip olduğu risk öncelik sayısı 140 iken, 4 no.lu hata türünün sahip olduğu risk öncelik sayısı da 216 dır. Hangisi için gerçekten önlem gerekmektedir. 4no.hata türünde, Fırın penceresinden fırın içi kontrolündeki işçinin karşı karşıya kaldığı durum ile 4no.lu hata türünde Fırın gaz sistemi kontrolündeki işçinin kaldıkları risk durumunda farklılık olduğu açıkça ortadadır.

İşte modelde önlem öncelik durumu, mevcut RÖS değerleri ve karar vericinin isteği doğrultusunda “Yüksek, Orta, Düşük” şeklinde değerler verilmiştir. Bu sayede olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik değerlerinin yanında önlem öncelik durumu verisi de karar vericiden alınmıştır. Bu veri kaba küme teorisinin uygulanması esnasında karar verici olarak önemli bir rol almaktadır.

Karar verici tarafından öncelik durumu “yüksek” olan hata türlerinin incelenmesi istenmiştir. bunun kaba küme olarak gösterimi aşağıda gösterilmiştir:

- $X = \{x \mid \text{Öncelik Durumu} = \text{Yüksek} \}$
- $X = \{7,14,18,20\}$

Kümesinin ele alınması istenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 5.5. Önlem önceliği yüksek olan hata türleri

No	Faaliyetin Tanımı	Faaliyet Sırasında Oluşabilecek Tehlikeler	Olası İstenmeyen Sonuç	Olasılık	Şiddet	Farkedilebilirlik	RÖS	Önlem Öncelik Durumu
7	Fırın tavan kontrolü	Yüksekte çalışma	Yüksekten düşme	3	10	7	210	Yüksek
14	Yan korkulukların kontrolü	Düzgün olmayan zemin	Düşme	7	8	5	280	Yüksek
18	Kalibrasyon (manuel ölçü alımı gerektiren)	Düzgün olmayan zemin	Düşme	5	4	7	140	Yüksek
20	Yan korkulukların kontrolü	Düzgün olmayan zemin	Düşme	7	8	5	280	Yüksek

5.4.1. Ayrışmazlık ilişkileri

Olasılık şiddet ve fark edilebilirlik hata türlerine ait nitelikleri oluşturmaktadır. Asıl çözüme ulaşmadan önce ayrışmazlık ilişkileri belirlenmelidir. Aynı nitelik değerlerine sahip elemanların ayrışmaz olduğu tanımı daha önceki bölümde yapılmıştı. Bu tanımdan hareketle tüm ayrışmazlık ilişkileri;

$$I(\{\text{olasılık, şiddet, f.e.}\}) = (\{2,8,15,19\}, \{4,7\}, \{14,20\}, \{1,18\}, \{3\}, \{5\}, \{6\}, \{9\}, \{10\}, \{11\},$$

$$\{12\}, \{13\}, \{16\}, \{17\})$$

$$I(\{\text{olasılık, şiddet}\}) = (\{2,8,11,15,16,19\}, \{4,7\}, \{14,20\}, \{1,18\}, \{3\}, \{5\}, \{6\}, \{9\},$$

$$\{10\}, \{12\}, \{13\}, \{17\})$$

$$\begin{aligned}
I(\{\text{olasılık, f.e}\}) &= (\{2,8,15,19\}, \{9,14,20\}, \{3,11\}, \{4,7\}, \{12,16\}, \{1,18\}, \\
&\quad \{5\}, \{6\}, \{10\}, \{13\}, \{17\}) \\
I(\{\text{şiddet, f.e}\}) &= (\{2,8,15,19\}, \{4,7\}, \{6,12\}, \{14,20\}, \{1,18\}, \{3\}, \{5\}, \{9\}, \\
&\quad \{10\}, \{11\}, \{13\}, \{16\}, \{17\}) \\
I(\{\text{olasılık}\}) &= (\{1,18\}, \{2,3,8,11,12,15,16,19\}, \{4,5,7,10\}, \{9,14,20\}, \\
&\quad \{13\}, \{17\}, \{6\}) \\
I(\{\text{şiddet}\}) &= (\{2,8,11,15,16,19\}, \{9\}, \{3,4,7\}, \{5,13\}, \{6,12,17\}, \\
&\quad \{1,10,18\}, \{14,20\}) \\
I(\{\text{fark edilebilirlik}\}) &= (\{1,4,7,13,18\}, \{2,8,15,19\}, \{3,5,11,17\}, \{6,10,12,16\}, \\
&\quad \{9,14,20\})
\end{aligned}$$

Olarak gösterilmektedir. Ayrışmazlık ilişkilerine göre alttan yaklaşım ve üstten yaklaşımlar yazılmaktadır. Mesela burada olailik, şiddet, f.e göre karar vereceğimiz için $I(\{\text{olailik, şiddet, f.e}\})$ satrından yararlanacağız. Eğer sadece olailik, şiddete göre sonuç isteniyor ise o zaman $I(\{\text{olasılık, şiddet}\})$ satrına ait düzen göz önüne alınacak tır.

5.4.2. Yakınsama ve sınırsal alan

Bu aşamada $X = \{x \mid \text{Öncelik Durumu} = \text{“Yüksek”}\}$ kümesinin alttan ve üstten yakınsamaları incelenerek X kümesinin eldeki tüm veri tablosu ile olan bulanık ilişkisi ortaya konacaktır.

- $B^*(X)$: Kesinlikle X kümesine ait elemanların oluşturduğu küme
- $B^*(X)$: Muhtemelen X kümesine ait olabilecek elemanların oluşturduğu küme
- $BN_B(X)$: Yukarıdaki her iki gruba ait elemanların arasındaki fark ile edilen elemanların oluşturduğu küme

başka bir deyişle, X kümesine kesinlikle ait olup başka kümeye ait olmayacak elemanlar ile mevcut veri tablosundaki elemanlardan bir ya da birkaç nitelik açısından, muhtemelen X kümesine ait olabilecek elemanlar incelenecektir.

$$B^*(X) = \{14, 20\}$$

$$B^*(X) = \{1,4,7,14,18,20\}$$

$$BN_B(X) = \{1,4,7,18\}$$

$BN_B(X) \neq \emptyset$, o zaman X bulanık kümedir

5.4.3. Kaba üyelik

Üyelik fonksiyonu derecesi alttan yakınsayan kümeler için 1e eşit olduğu durumlarda önceki bölümde açıklanmıştır.

İncelediğimiz olan X kümesine ait olmayan ancak sınırsal alan kümesi $BN_B(X)$ de bulunan $\{1,4,7,18\}$ elemanları için üyelik derecesi hesaplandığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır.

$$\mu_B^B(1) = |X \cap B^*(1)| / |B^*(1)|$$

$$\mu_B^B(1) = |\{7,14,18,20\} \cap \{1,18\}| / |\{1,18\}|$$

$$\mu_B^B(1) = 1/2 = 0,50$$

$$\mu_B^B(4) = |X \cap B^*(4)| / |B^*(4)|$$

$$\mu_B^B(4) = |\{7,14,18,20\} \cap \{4,7\}| / |\{4,7\}|$$

$$\mu_B^B(4) = 1/2 = 0,50$$

$$\mu_B^B(7) = |X \cap B^*(7)| / |B^*(7)|$$

$$\mu^B(7) = |\{7,14,18,20\} \cap \{4,7\}| / |\{4,7\}|$$

$$\mu^B(7) = 1/2 = 0,50$$

$$\mu^B(18) = |X \cap B^*(18)| / |B^*(18)|$$

$$\mu^B(18) = |\{7,14,18,20\} \cap \{1,18\}| / |\{1,18\}|$$

$$\mu^B(18) = 1/2 = 0,50$$

Sonuç olarak $BN_B(X)$ de bulunan $\{1,4\}$ elemanları karar verici tarafından önlem öncelik derecesi yüksek olarak belirlenen $\{7,14,18,20\}$ kümesine 0,5 üyelik derecesi ile üyedir denilebilir. Yani $\{1,4\}$ elemanları da yüksek öncelik derecesi elemanlar kümesine %50 oranında dahil edilerek önlem alınması sağlanabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu modeldeki $X = \{7,14,18,20\}$ kümesini oluşturan önlem öncelik derecesi yüksek olan elemanların yanında, $\{1,4\}$ elemanlarının da belirli bir üyelik derecesinde söz konusu kümeye ait olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu sayede karar vericinin davranışı bir ölçüde modellenmiştir. Bulanık yaklaşımlarında oldukça yeni bir model olan kaba küme teorisinin önceki bölümlerde ifade edildiği gibi birçok uygulama alanı mevcuttur. Bu uygulamada hata türü ve etkileri analizinde kaba küme yaklaşımı ele alınmıştır.

Uygulamada hata türü ve etkileri analizinde elde edilen RÖS değerlerindeki bulanıklığın giderilmesinde karar vericiden alınan ek verilerin de kullanımı kaba küme teorisi ile sağlanmıştır. Bu sayede önlem alınması gereken hata türlerinin belirlenmesinde sadece RÖS değeri değil, her bir hata türünü karakterize eden olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik puanları da incelenmiştir. Bu puanların yanında karar vericiden alınabilecek ek verilerin de kaba küme teorisi sayesinde hata türü ve etkileri tablosuna entegre edilebileceği gösterilmiştir.

Sonuçta, hata türü ve etkileri analizinin esnekliğini ve kullanılabilirliği artırılabilmesi için karar vericiden daha başka dilsel veya sayısal veriler alınabilir ve bu verilerin oluşturduğu karakteristik yapılar kaba küme teorisi ile incelenerek hata türlerindeki mevcut bulanık durumlar çözüme kavuşturulabilir.

Bu çalışmanın sonucunda önceki bölümde HTEA sorunlarından sayılan orta ve yüksek risk değerlerini karşılaştırmasının yanlış sıralama problemi, kaba küme yöntemi ile çözülmüştür. Çalışma sonunda yönetime hangi RÖS in daha riskli olduğu, veya orta sayılan RÖS nın, ne kadar önemli olduklarını gösterilmektedir.

6.1. Çalışmanın Literatüre Katkısı

Mevcut hata türü ve etkileri analizinin literatüründe bir çok örnek göze çarpmaktadır. Bu örneklerde elde edilen risk öncelik sayılarından belirli değerlerin üstündekilere önlem alınması gerektiğinin altı çizilmektedir. Yani olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik puanlarının aynı önemde olduğu varsayılmaktadır. Alınan önlemler sonucu yeniden hata türü ve etkileri mekanizması işletilerek yeni puanlar elde edilmektedir. Gelişim ve iyileşme sadece sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Ortamdaki belirsizlik göz ardı edilerek karar vericinin davranışının modellenmesinde sınırlı kalınmaktadır.

Bu çalışma ile hata türü ve etkileri analizinin mevcut sürecindeki bulanık sonuçların değerlendirilmesinde bir yöntem olarak kaba küme teorisi ele alınmıştır. Bu yeni teorinin ele alınmasıyla 1950 den beri oldukça geniş bir alanda kullanım imkanı bulunan hata türü ve etkileri analizine yeni bir alan kazandırılmıştır.

Hata türü ve etkileri analizinin başlıca fonksiyonu olan sistem adımlara ayrılması ve bu adımlarda meydana gelebilecek hata türlerine ait olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik puanları yanında karar vericiden alınabilecek dilsel veya sayısal ek verilerin modele eklenebileceği kaba küme teorisi ile sağlanmıştır. Benzer RÖS değerine sahip hata türlerinden hangisine önlem alınacağı veya karar verici tarafından belirlenen önceliklere göre karar vericinin davranışına paralel benzer karakteristiklere sahip hata türlerinden hangisine önlem alınması gerektiği belirlenecektir. Bu sayede karar vericinin de davranışı modellenebilecektir. Sonuç olarak kaba küme teorisi, bulanıklığın ele alınmasında sürekli gelişen bir araştırma konusudur. Asıl merkezi veri tabanlarının incelenmesi olan kaba kümenin daha başka alanlarda da kullanılabilirliğinin gösterilmesi açısından mevcut uygulama ortaya konmuştur. Yani hata türü ve etkileri analizinin daha esnek ve genişletilebilir olması için kaba küme teorisinin kullanılabilmesi gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Blanchard, B.S., "System engineering and management", **Wiley**, New York, 65-69 (1998).
2. Bowles, J. B., "An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis", **Prec. Ann. Rel. Maint. Symp., IEEE**, New York, 380 (2003).
3. Bowles, J.B., Bonnell, R.D., "Failure Mode, Effects and Criticality Analysis-What it is and how to Use it", **Prec. Ann. Rel. Maint. Symp., IEEE**, New York, 56 (1998).
4. Bowles, J.B., "The new SAE FMECA standard", **Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium**, Anaheim, CA, 48-53 (1988).
5. Franceschini, F., Rossetto, S., "QFD: the problem of comparing technical/engineering design requirements". **Research in Engineering Design**, 7: 270- 278 (1995).
6. Gilchrist, W., "Modeling failure modes and effects analysis" . **Int J Quality Reliab Manage**;10: 16–23 (1992).
7. Guimaraes, A.C.F., Lapa,C.M.F., "Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems", **Applied Soft Computing** 7: 17–28 (2007).
8. Hatty, M., Owens, N., "Potential failure modes and effects analysis", **a business perspective. Quality Engineering**, 7(1): 169 – 186 (1995).
9. IAEA , "Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments for Non-reactor Nuclear Facilities", **IAEA-Tecdoc**, 40-54 (2002).
10. Korayem, M.H., Iravani, A., "Improvement of 3P and 6R mechanical robots reliability and quality applying FMEA and QFD approaches" , **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 472–487 (2008).
11. Xu, K., Tang, L.C., Xie, M., Ho, S.L., Zhu, M.L., "Fuzzy assessment of FMEA for engine systems", **Reliab. Eng. Syst. Saf.**75, 17-29 (2002).
- 12.12. Lange, K.A., Leggett, S.C., Baker, B., "Potential failure mode and effect analysis", (FMEA), Reference Manual, 17-24(2001).

13. MIL-STD-1629-A, "Procedures for performing a failure mode effects and criticality analysis", **ABD Savunma Bakanlığı**, 1-19 (1984).
14. MIL-STD-1629-A, "Standard practice for system safety" , **ABD Savunma Bakanlığı**, 1-21 (2000).
15. Moss,TR., Wood house, J., "Criticality analysis revisited", **Quality and Reliability Engineering International**, 15: 117-121 (1999).
16. Pat, L., Clemens, P.E., Rodney J., "An Introduction to System Safety and Risk Management", **U.S, Departement of Health and Human Services**, Cincinnati, Ohio1-14 (1998).
17. Pelaez, C.E., Bowles, J.B., "Using fuzzy logic for system criticality analysis", **Proceeding of the IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium**, Anaheim, CA, 449-455 (1994).
18. Pillay, A., Wang, J., "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning", **Reliability Engineering and System Safety**, 79: 69–85 (2003).
19. 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).
20. Stamatis, D.H., "Failure Mode and Effect Analysis:FMEA from Theory to Execution" , **ASQ quality pres**, Milwaukee, Wisconsin, 35-39 (1995).
21. Stephans, R.A., Talso, W.W., "System safety analysis handbook. 2nd ed", **New Mexico Chapter, System Safety Society**, 56-72 (1997).
22. Tomas, A.L.C., "FMEA Risk Assesment" , **TLC**, 89-94 (2003).
23. Wirth, R., Berthold, B., Kramer, A., Peter, G., "Knowledge-based support of system analysis for the analysis of failure modes and efects", **Engineering Application of Articial Intelligence**, 9(3): 219-229 (1996).
24. Yılmaz, B.S., "hata türü ve etki Analizi", **Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, Vol.2, No.4, 36-47 (2000).
25. Zadeh, L.A., "Fuzzy Sets and Applications", **Selected Papers Wiley**, New York, 15-25 (1987).

26. Zalewski, J., Ehrenberger, W., Saglietti, F., Górski, J., Kornecki, A., “Safety of computer control systems: challenges and results in software development”, *Annual Reviews in Control*, 27: 23–37 (2003).

EKLER

EK1. Potansiyel HTEA formu

HTEA															
SİSTEM _____			POTANSİYEL HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ					FMEA SAYISI _____							
ALT SİSTEM _____			(İŞ GÜVENLİĞİ FMEA)					HAZIRLAYAN _____							
BİLEŞENLER _____			ANAHTAR					FMEA TARİHİ _____							
TAKIM _____			GÜN _____					REVİZYON _____							
LİDERİ _____			TARİHİ _____					SAYFA _____ / _____							
TAKIM _____			TARİHİ _____					SAYFA _____ / _____							
FONKSİYON	POTANSİYEL HATA MODU	POTANSİYEL HATA ETKİSİ	ÖNEM	HATANIN POTANSİYEL NEDENLERİ	Olasılık	GEÇERLİ OLAN KONTROLLER	Yakalama	RPN	TAVSİYE EDİLEN FAALİYETLER	SORUMLULUK & HEDEFLenen TAMAMLANMA TARİHİ	Faaliyet Sonuçları				
											GERÇEKLEŞTİRİLEN FAALİYETLER	ÖNEM	ORTAYA ÇIKMA	YAKALAMA	Yeni RPN
	PARÇANIN DÜŞMESİ KIRILMASI	OPERATÖRÜN YARALANMASI	9	MALZEMEDEN VEYA TAŞIMA SIRASINDA OPERATÖR HATASI	7	KULLANILAN MALZEMELERİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN KONTROLÜ	7	441	TAŞIMA SÜRECİNİN TEKRAR GÖZDEN GEÇİRİLMESİ	MÜHENDİSLİK BÖLÜMÜ NİSANI İKİNCİ HAFTASI					

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MİRZAPOUR, Amin
Uyruğu : IRAN
Doğum tarihi ve yeri : 25.02.1982.Zencan
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0098 (241) 4247521
Faks : 0098 (241) 3239492
e-mail : mirzapour1990@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
lisans	Azad Abhar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği	2006
Lise	Shariati lisesi	2001

Yabancı Dil

İngilizce-Türkçe- Farsça

Hobiler

Doğa, Seyahat, Fotoğrafçılık, Dalgıç, tiyatro