

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HATA TÜRÜ ve ETKİ ANALİZİ İÇİN KÜTLE ÇEKİM KANUNU ESASLI
GRİ İLİŞKİ ANALİZ MODEL ÖNERİSİ**

Mehmet YAŞBAYIR

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Erdal AYDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2017**



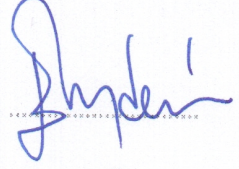
© 2017 [Mehmet YAŞBAYIR]

TEZ ONAYI

Mehmet YAŞBAYIR tarafından hazırlanan "**Hata Türü Ve Etki Analizi İçin Kütle Çekim Kanunu Esaslı Gri İlişki Analiz Model Önerisi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Erdal AYDEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi



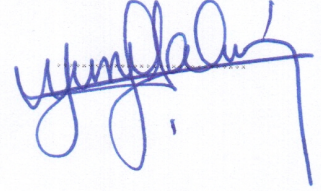
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim KORUCA
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Yusuf ŞAHİN
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



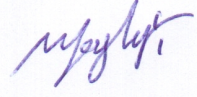
Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Mehmet YAŞBAYIR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI	i
TAAHHÜTNAME	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Hata Türü ve Etki Analizi	11
3.1.1. HTEA türleri	20
3.2. Hata Türü ve Etki Analizinin Tarihsel Gelişimi	25
3.3. Risk Öncelik Sayısı (RÖS).....	26
3.3.1 Risk öncelik sayısı (RÖS) hesaplama yöntemleri.....	27
3.4 Hata Türü Etki Analizinde Risk öncelikli Hata Türlerinin Tespiti	29
3.5. Gri Sistem Teorisi	38
3.5.1. Gri modelleme	38
3.5.2. Gri ilişki analizi.....	41
3.6. Gri HTEA modeli	44
3.7. Önerilen Yöntem: Kütle Çekim Esaslı Gri-HTEA.....	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	54
4.1. Uygulama Örneği	54
4.2. Gri HTEA İle Elde Edilen Sonuçlar	62
4.3. KÇ-Gri-HTEA İle Elde Edilen Sonuçlar	64
4.4. Sonuçların Karşılaştırılması	65
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	67
Ekler.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HATA TÜRÜ ve ETKİ ANALİZİ İÇİN KÜTLE ÇEKİM KANUNU ESASLI GRI İLİŞKİ ANALİZ MODEL ÖNERİSİ

Mehmet YAŞBAYIR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erdal AYDEMİR

İşletmelerde genellikle süreçlerin sorunsuz bir şekilde ilerlemesi istenir. Ancak, her ne kadar analiz ve tasarım uygulamalarına başvurulsa dahi seçim, tasarım, süreç ve servis döngüsünde ortaya çıkan hataların yönetilmesi nihai ürünün istenilen kalite düzeyi için oldukça önemlidir. Bunu sağlamaya yönelik başlıca bir yöntem olan hata türü ve etki analizi yaklaşımı ile öncelikli önemli olan hata türlerinin elde edilmesi amaçlanır. Bu tez çalışmasında, üretim sistemi boyunca meydana gelebilecek hata türlerinin şiddeti, fark edilmeme ve ortaya çıkma olasılıklarının hesaplanması için kütle çekim kanunu temeline dayanan gri ilişki analiz modeli geliştirilmiştir. Önerilen yöntemde, gri ilişki analiz yöntemi hata türlerinin risk öncelik değerlerinin elde edilmesinde temel yöntemdir. Tez çalışması kapsamında önemli geliştirme aşaması, elde edilen risk öncelik değerlerini kullanarak hata türlerinin birbirleri arasındaki etkileşimlerinin incelenen süreç yapısına göre kütle çekim kanunu yaklaşımından esinlenen yeni bir değerlendirme yöntemi ile çözüme dahil edilmesidir. Bu sayede hata türlerinin sadece tek başına etkileri değil birleşik etkilerinin de gösterilmesi hedeflenmiştir. Gri hata türü ve etki analizi yönteminde risk öncelik sayısının hesaplanmasındaki ağırlıkların geliştirilen yöntemle yeniden hesaplanması önerilmiştir. Sonuçta, hata ve/veya hata türlerinin önem seviyelerinin belirsizlik durumu altında belirlenmesi yoluyla hata türü ve etki analizi değerlendirme sürecinden öznel yorumların arındırılması sayesinde süreç yöneticileri için etkin kararlar alabilecekleri yeni bir risk değerlendirme modeli endüstriyel uygulamalı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hata Türü ve Etki Analizi, Gri Sistem Teorisi, Gri İlişki Analizi, Risk Öncelik Değerlendirmesi, Kütle Çekim Kanunu

2017, 79 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

A NEW MODEL TO FAILURE MODE and EFFECT ANALYSIS USING MASS GRAVITY LAW BASED GREY RELATIONAL ANALYSIS

Mehmet YAŞBAYIR

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Erdal AYDEMİR

Processes are often required to operate smoothly in enterprises. However, even if analysis and design applications are used, managing the errors that occur in the cycle of selection, design, process and service is important for the desired quality level of the final product. It is aimed to obtain the most important failure modes with the Failure Mode and Effect Analysis approach which is the main method to achieve this. In this thesis, a mass gravity law based grey relational model will be developed to calculate the probability of occurrence, detection, and severity of mode of failure that may occur throughout the production system. Also, the grey relational analysis method will be used when risk priority values of error types are obtained. A new proposed method based on the mass gravity law approach will be developed according to the structure of the process which examines the interactions among the types of failure using the risk priority values obtained as the most distinct developmental stage within the scope of the thesis study. This will ensure that not only individual effects but also the combined effects of the types of errors will be shown. As a result, providing a new risk assessment model where process managers can make effective decisions by determining the importance levels of failure and/or failure modes under the uncertainties which is shown using an industrial application in detail.

Keywords: Failure Mode and Effect Analysis, Grey System Theory, Grey Relational Analysis, Risk Priority Assessment, Mass Gravity Law

2017, 79 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Erdal AYDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Lisans ve yüksek lisans aşamasında desteklerini eşirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmamın içerik kapsam ve uygulama açısından gelişmesinde önemli görüşleri ve tavsiyelerinden faydalandığım savunma sınavı jüri üyeleri olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim KORUCA ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Yusuf ŞAHİN hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmasının endüstriyel uygulama aşamasında vermiş oldukları destekten dolayı Paşa Metal İşletmesi sahipleri ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Araştırmanın yürütülmesinde yardımlarını gördüğüm arkadaşım Mustafa ERDOĞMUŞ'a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Mehmet YAŞBAYIR
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Sistem tasarım ve süreç HTEA ilişki tablosu	21
Şekil 3.2. Ürün geliştirme döngüsü ve HTEA programı	22
Şekil 3.3. Tasarım HTEA diyagramı	23
Şekil 3.4. Gri modelleme sistem şeması	40
Şekil 3.5. Kütle çekim kuvveti formül ve gösterimi	49
Şekil 3.6. Önerilen yöntemin algoritması	50



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Hata türü ve etkileri analizi için bilimsel yazın örnekleri	4
Çizelge 3.1. HTEA'nin dört tipi ve aralarındaki ilişki	24
Çizelge 3.2. Chang'a göre Önem, oluşma ve keşfedilebilirlik değerleri	31
Çizelge 3.3. Oluşma sıklığı faktörü için dereceler	32
Çizelge 3.4. Önem faktörü için dereceler	32
Çizelge 3.5. Keşfedilebilirlik için dereceler	33
Çizelge 3.6. RÖS hesabı için bir örnek	35
Çizelge 3.7. Geleneksel HTEA süreci	37
Çizelge 3.8. Ben, daya ve Raouf'un revize ettiği HTEA modeli	37
Çizelge 3.9. Siyah, gri ve beyaz sistemlerin karşılaştırılması	40
Çizelge 4.1. Hata türü ve açıklamaları tablosu	56
Çizelge 4.2. Hata türleri ve Klasik HTEA RÖS değerleri	57
Çizelge 4.3. Klasik Gri-RÖS hesaplaması için ağırlıklandırma örneği	59
Çizelge 4.4. Hata türü ilişki matrisi	60
Çizelge 4.5. Önem değerleri için kütle çekim matrisi	61
Çizelge 4.6. Oluşma değerleri için kütle çekim matrisi	62
Çizelge 4.7. Keşfedilebilirlik değerleri için kütle çekim matrisi	62
Çizelge 4.8. Gri RÖS değerleri ve sıralaması	64
Çizelge 4.9. KÇ-Gri-HTEA ile elde edilen sonuçlar	65
Çizelge 4.10. Önem düzeyi sıralamalarının karşılaştırması	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

F	Kuvvet
G	Kütle çekim
GM	Gri Model
Gri-HTEA	Gri hata türü ve etki analizi
GST	Gri sistem teorisi
HT	Hata türü
HTEA	Hata türü ve etki analizi
K	Keşfedilebilirlik
KÇ-Gri-HTEA	Kütle çekim esaslı Gri-HTEA
N	Karar faktör sayısı
O	Ortaya çıkma olasılığı
Ö	Önem(Şiddet)
PHTEA	Poses HTEA
R	Uzaklık
RÖS	Risk öncelik sayısı
SeHTEA	Servis HTEA
SHTEA	Sistem HTEA
THTEA	Tasarım HTEA
W_k	Faktörlerin ağırlıklandırma katsayısı
$X_0(k)$	Standart seriler
$X_j(k)$	Karşılaştırmalı seriler
Γ	Gri ilişki katsayısı
Δ	Fark

1. GİRİŞ

Günümüzde işletmeler, gerçekleştirdikleri süreçlerinin sorunsuz ve kararlı bir şekilde devam ettirmek istemektedir. Rekabet ortamında hızlı değişime cevap verebilmek için ayrıca esnek olmak zorundadırlar. Karşılaştıkları sorunların en kısa sürede çözülmesi ve/veya etkilerinin ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadırlar. Tam da bu noktada, işletme faaliyetleri boyunca meydana gelebilecek hataların önceliklendirmesi işletmeler için oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu durum üretim hızı, kalite politikası, müşteri memnuniyeti, çalışan memnuniyeti, karlılık, işletme içi israf ve üretim verimliliği gibi birçok performans göstergesine etki yapmaktadır. İşletmeler tanımlanmış ve öngördükleri mümkün hata türleri ve bunların etkilerini belirlemede Hata Türü ve Etki Analizi (HTEA) yöntemini sıklıkla tercih etmektedirler.

Hata Türü ve Etki Analizi (HTEA) bir ürün veya süreçte ortaya çıkabileceği tahminlenen hataların belirlenmesi ve ortaya çıkarılmasında kullanılan bir yöntemdir. HTEA etki analizinde Önem (Ö), Ortaya Çıkma Olasılığı (O) ve Keşfedilebilirlik (K) gibi değerler hata önceliklendirme işleminde kullanılır. Bu üç değerın çarpımı Risk Öncelik Sayısını (RÖS) vermektedir (Geum vd., 2011).

HTEA süreçler ve sonuçlar açısından, uygulayıcıların bilgi birikiminden fazlaca etkilenmektedir. Yani sonuçlar genel olarak öznel olabilmektedir. Aynı işlemi uygulayan iki farklı grup aynı firmada farklı sonuçlar elde etmesi kaçınılmazdır. Bu öznelilik işletme içerisinde istenmeyen bir durumdur. Risklerin ağırlıklandırma işlemi de HTEA kapsamında önemli bir yer teşkil eder ve ağırlıklandırma işlemi genelde maliyet veya HTEA uygulayıcıların kişisel birikimlerine göre yapılmaktadır. Ancak bu durum farklı dezavantajlara sahiptir. Çünkü, bilinmeyen/öngürülemeyen hatalar dolayısıyla maliyetler birçok işlemde ortaya çıkmazken belli bir işlemde ortaya çıkabilmektedir. Bir işletmede süreç boyunca ilk on işlemde meydana gelen hataların birikerek onbirinci işlemde ortaya çıkması ve önem düzeyi yüksek bir hata meydana getirmesi bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Böyle bir örnekte önceliklendirme işleminde onbirinci işlem ilk sıralarda yer alırken hata ya sebep olan ilk on işlem hata türü

önceliklendirmeye işleminde geri sıralarda yer alabilmektedir. Aslında hatanın veya hata türünün kök nedenini bulmak güçleşir. Daha sonra, elde edilen bu sonuç HTEA ekibini yanlış hata türüne yönelterek işletmede zaman kaybı ve maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Bu kayıpları engellemek için her bir işlemin birbirleri ile ilişkileri ve birbirlerine olan etkileri incelenmeli ve bu etkilere göre bir HTEA yöntemi ortaya çıkarılmalıdır. HTEA sürecinden de uygulayıcı (insan) faktörünü çıkartmak veya etkisini azaltmak hedef olarak tanımlanabilir.

Benzer şekilde bu belirsizlik durumları için araştırmacılar, önemli bir belirsizliğin çözümü olarak Gri Sistem Teorisi ile HTEA yöntemleri bir arada kullanarak Gri-HTEA yöntemi önermişler ve RÖS değerleri bu yeni yöntem ile hesaplamışlardır. Bu RÖS değerlerinin hata türlerini temsil etmedeki etkisini farklı çalışmalar ile göstermişlerdir. Özellikle kaynak özetleri kısmında bu konuya detaylıca yer verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, yukarıda tanımlanan eksiklikleri gidermek amacıyla, klasik HTEA yöntemine alternatif olarak Gri-HTEA yöntemi tanımlanmış bir problem üzerinde uygulanmış ve daha sonrada Gri-HTEA yöntemi üzerinden elde edilen sonuçları kullanan Kütle Çekim kanunundan esinlenen yeni bir HTEA (KÇ-HTEA) yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen KÇ-HTEA yukarıda belirtilen eksiklikleri gidermek amacıyla her hata türünün birbirleri arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmış ve bu ilişkileri birbirleri arasında bir uzaklık olarak tanımlamıştır. Her bir hata türüne belirli kütleler atayarak (hata türlerinin RÖS değerleri) hata türlerini ağırlıklandırmıştır. Önerilen yöntemde, işletme bir yörünge olarak belirlenmiş ve hata türlerinin birbirleri arasındaki etki büyüklüklerini kütle çekim kanunu ile hesaplamıştır. Sonuçta, bu elde edilen kuvvetler birikimli olarak toplanmış ağırlıklandırma işleminde kullanılmıştır. Böylece ağırlıklandırma işlemi her bir hata türünün etkisini içermiş ve HTEA işlemindeki öznellik etkisini büyük oranda azaltmıştır. Önerilen model, çelik kapı üretimi yapan bir işletmede uygulanmış ve elde edilen sonuçlar yeni RÖS değerlerinin işletme içinde müşteriye yansıtılmadan çözülebilecek ya da bir sonraki işlemde ortaya çıkacak hataların önceliklendirmesinde etkili olmuştur. İşletme açısından sonuçların

tutarlılıkları önerilen yöntemin uygunluğunu ve ayrıca geliştirilmeye açık bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, HTEA ve Gri-HTEA başta olmak üzere bilimsel yazında karşılaşılan çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ise; HTEA, gri sistem teorisi ve Gri-HTEA ile önerilen kütle çekim esaslı Gri-HTEA yöntemi detaylıca açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, uygulama işletmesi, üzerinde çalışılan süreç ve bu sürece ait hata/hata türleri ait tanımlamalar açıklanmıştır. Ayrıca, bu üç yöntemle ait uygulama sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Son bölümde ise, elde edilen bulgular, önerilen yöntem ve yöntemin sonuçlar üzerindeki etkileri değerlendirilerek, çalışmanın gelecek araştırma konuları üzerinde durulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde, HTEA ve HTEA yönteminde yapılan geliştirmeler üzerine yapılan bilimsel yazın taraması ile elde edilen ve genellikle tez çalışması ile ilgili olarak ele alınan çalışmalar açıklanmıştır. Genel olarak yapılan bilimsel yazın taraması Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Hata türü ve etkileri analizi için bilimsel yazın örnekleri

Kullanılan Yöntem	Bilimsel Yazın Örneği
Klasik HTEA	Chang vd. (2001), Carbone ve Tippet (2004), Chiozza ve Ponzetti (2009), Yakıt (2011), Özkan vd (2013), Yunusoğlu vd. (2016).
Bulanık Mantık	Wang (2002), Sofyalıoğlu (2011), Aytaç (2011), Rahimi Vd (2013), Hajiagha vd (2016).
Kaba Küme Analizi	Razi vd. (2013), Aytaç (2011)
Gri İlişki Analizi	(Deng,1989), He ve Hwang (2007), Pai vd. (2007), Xu vd. (2007), Kurt (2008), Tseng (2009), Özdemir ve Deste (2009), Sofyalıoğlu (2011), Akay (2011), Chang ve Tsai (2013), Silva vd (2016).
Deney Tasarımı	Yuichi (2011).
Çok Kriterli Karar Verme	Kuei-hu Chang vd. (2011).

Chang vd. (2001), geleneksel HTEA risk öncelik sayısını üç faktörün değerlerini çarpımı ile belirler. Ancak elde edilen değer, öznel dilsel değerlendirme ve göreceli önem değerlerini içermez. Bu çalışmada, HTEA da etkinliğini arttırmak için için gri teoriye başvurulmuştur. Çalışma sonuçları gri teorinin çok daha kolay ve tarafsız olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, parça tasarımı ve süreç planlama konularındaki potansiyel problemlerde, parça güvenilirliğini ve düzgün bir süreç ortaya konulmasını sağlar. Gri ilişki analizi ve karar verme deneme ve değerlendirme yaklaşımı ile geliştirdikleri DEMATEL metodunu, birlikte değerlendirmişlerdir. HTEA’nın sistem güvenilirliğini artırmada ve ürün

kalitesini geliştirmek için geniş bir alanda kullanıldığını söylemiştir. Ayrıca RÖS üç değerden oluşur, bunlar hatanın önemi, ortaya çıkma olasılığı ve keşfedilmesi değeridir. Yazarlar yaptıkları bu çalışmada gri ilişki analizini RÖS -düşük etki değerleri ve sıralı ağırlık kurallarına göre- değerlerini modifiye etmek için kullanmışlardır. DEMATEL yönteminde, hata modu ve hata nedenleri arasındaki direk ve endirekt ilişkilerin incelenmesi araştırılmıştır. Birçok zaman bir hata nedeni birçok hata türüne neden olmakta ve bu sebeple yüksek RÖS değerleri meydana gelmektedir. Sonuçta çalışmanın geleneksel yöntemlere göre daha etkili olduğu gösterilmiştir.

Kadioğlu vd. (2009), klasik HTEA analizi yöntemlerini çöp konteyneri üreten bir işletme üzerinde uygulamışlardır. İşletme içerisindeki tasarım aşamasıda meydana gelen hataları önlemek amacıyla tasarım HTEA üzerine bir çalışma yapılmış ve işletme içerisindeki hata kaynakları ortaya çıkartılmış ve işletmede iyileştirme yapılmıştır.

Aytaç (2011) yaptığı çalışmada, bulanık HTEA, kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan Kalite Fonksiyon Göerimi (KFG) ile birlikte kullanılmıştır. Denizli’de faaliyet göşteren bir kablo işletmesinde bulanık KFG ile bir ürün geliştirilmesi ve bu ürünün imalâtı esnasında çıkabilecek hata türleri, bulanık HTEA yöntemi ile belirlenmesi ve risklerine göre sıralanmasını içeren bir örnek ortaya koymuştur. Ayrıca çalışmada karar vericiler, tüm değerlendirme süreçlerinde, sözel değişkenleri kullanmıştır. Böylece, bulanık mantık yoluyla ürün geliştirme esnasında karşılaşılan kesin bilginin eksikliği ve her bir hata türüne ilişkin risk faktörlerine ait kesin değerlerin atanamaması sorunları giderilmiştir.

Yuichi (2011) ise, HTEA yönteminin süreçlerin yenilenmesi amacıyla geniş bir alanda kullanıldığını değinmişlerdir. Tahminleme yöntemi ile ortaya çıkan hata zincirleri önemli derecede uygulayıcıların deneyimine bağlı olduğunu ve mantıksal olmayan kurallardan oluştuğuna değinilmiştir. Bu çalışmalarında gizli hataları etkili bir şekilde ortaya koyan, DRBFM (Design Review Based on Failure Modes) tasarım gözden geçirmeyi temel alan hata türü yöntemini açıklamıştır. Önerilen yöntemde, ilk aşamada normal durumdaki fonksiyonel ve yapısal model

kurulur. Daha önceki model ile modellerin özellikleri karşılaştırılır. Hatalar maddeler halinde listelenir. Hatalar bulunduktan sonra yeni oluşturulan hata zincirlerini ortaya çıkarmak için hatalar tarafından müdahale edilen değişiklikler tartışılır. Hata zincirlerini ortaya çıkarma performansları karşılaştırılır. Çalışmanın uygulama kısmında, 28 makine mühendisliği öğrencisi tarafından yapılan çalışmalar ile yeni geliştirilen yöntem veya geleneksel HTEA süreçleri karşılaştırılmıştır. Sonuçta, yeni yöntemin hata zincirlerini ortaya koymada çok daha etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Sofyalıoğlu (2011) yaptığı çalışmada, HTEA tekniğinde öncelik sıralaması; hataların meydana gelme olasılığı, fark edilmeme olasılığı ve şiddetine yönelik puanların çarpımıyla hesaplanan Risk Öncelik Puanına (RÖP) göre yapılmakta olduğunu belirtmiş ve bu uygulamanın farklı risklerin aynı önceliği alabilmesi ve risk faktörlerinin ağırlıklarının dikkate alınmaması gibi birtakım dezavantajlarının bulunmakta olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında da ilk olarak yöntemin uygulanışı ve eksikliklerini incelemiştir. Daha sonra bu eksikliklerin giderilebilmesi amacıyla HTEA yönteminin gri ilişki analizi kullanılarak modifiye etmiş ve konuyla ilgili bir sanayi uygulamasına yer vermiştir.

Razi vd. (2013) ise; gri system teorisi ve gri kaba küme analizi yöntemini, HTEA analizi yönteminde kullanmışlardır. Önemli hata türü çeşitleri ve olası hata durumlarıyla başa çıkmak için kullanılan yeni bir yöntem ortaya konulmuştur. Ayrıca uygulanması amaçlanan metot, literatürde bulunan mevcut örnekler üzerinden örneklenmiştir. Ve ulaşılan sonuçlar, bulanık mantık yöntemiyle ilgili çözüm sıkıntısı olan problemlere HTEA kullanılarak çok önemli bir yeni bir strateji ortaya konulduğu açıklanmıştır.

Özkan vd. (2013), bir firmada gerçekleştirilmiş Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) çalışması sonucu eşit çıkan RÖS değerlerinin farklılaşmasını sağlayacak modelin çözümlenmesi ve geliştirilen alternatif çözümün çözüme kavuşturulan model ile olan ilişkisi üzerinde durulmuştur. Farklılaştırmayı sağlayacak model oluşturulurken öncelikle, maksimize edilecek amaca göre değişmesi muhtemel değerler için kukla değişkenler atanmış, daha sonra “Yeni RÖS Değerlendirme

Yöntemi” modele eklenmiştir. Modelin çözümlenmesi sırasında ise ilgili yöntem ile oluşturulmuş sayısal değerler arasındaki fark, modelde maksimize edilecek değer olarak seçilmiş ve ilgili modele ait kısıtlar oluşturulmuştur. Kısıtların oluşturulmasında ise, uygulamada gerçekleşen durumun göstergesi niteliğinde olan ve eşit çıkan RÖS toplamalarına ait alt bileşenler dikkate alınmıştır.

Hoseynabadi vd. (2010), yaptıkları çalışmada çeşitli güç üretim sistemlerinin güvenilirliğini incelemek için hata türü ve etki analizi (HTEA) yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem, yaptıkları çalışma ile güvenilirliği tescillenmiş bir analiz yazılımı kullanılarak bir rüzgar türbini sistemine uygulanmıştır. HTEA'nın nicel sonuçları ve güvenli alan verileri ile rüzgar türbinleri ve bunların kurulum aşamalarından elde edilen gerçek veriler karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucu, ilerleyen yıllarda rüzgar türbini tasarımında ve kurulumunda fayda sağlayabileceği tartışmaya açılmıştır. İncelenen temel konu ortaya tasarlanarak ortaya konan bir rüzgar türbini ile aynı değerlere sahip başka bir rüzgar türbinini karşılaştırılmıştır.

Carbone ve Tippet (2004), yaptıkları çalışma ile proje risklerini belirleme ve hafifletme, başarılı projeleri yönetmede çok önemli adımlar olduğuna değinmişlerdir. yayınladıkları makalede, proje risklerini ölçmek ve analiz etmek için Hata Türü ve Etki Analizi HTEA) biçiminin bir uzantısını önermektedir. Yeni teknik, proje risk FMEA (RFMEA) olarak etiketlenmiştir. RFMEA, bilinen işlem, ürün ve hizmet FMEA tekniğinin bir modifikasyonu olduğuna değinilmiştir. Projeler için FMEA formatını kullanmak için, standart FMEA'nın algılama değeri, proje ortamında kullanılması için biraz değiştirilmiştir. Yeni yaklaşım elektronik endüstrisinden bir vaka çalışmasında örneklendirilmiştir. Algılama değerini risk ölçme sürecine ekleyerek, tipik risk değerinin ötesinde başka bir önlem proje ekibi tarafından kullanılabilir hale getirilmiştir. RFMEA'nın sağladığı avantajlar, en yakın riskler üzerine yoğunlaşmak, risk acil durum planlamasını önceliklendirmek, risk yönetim sürecine ekip katılımını arttırmak ve gelişmiş risk kontrolleri geliştirme olduğunu kanısına varmışlardır.

Chiozza ve Ponzetti (2009), yaptıkları çalışma ile klinik risk yönetimi hastane yönetiminin önemli bir bölümü haline gelmiştir bu gerçeğin doğrultusunda hasta güvenliği önemli bir yönetim konusu olduğuna değinmişlerdir. Yazarlar çalışmasında Hata Türü ve Etki Analizi'nin (FMEA), 1960'lı yıllarda havacılık ve uzay endüstrisinde ilk kez tanıtılan hata tespit ve azaltma için proaktif bir teknik olduğunu açıklamışlar. Sağlık sektöründe ise 1990'lardan kalma erken başvurular, uyuşturucuların geliştirilmesi ve üretilmesinde ve hastanelerde ilaç hatalarının önlenmesinde kritik sistemleri içerdiğine değinmişlerdir. 2008 yılında Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) Teknik Komitesi, yüksek riskli süreçlerin potansiyel risk analizleri için bir yöntem olarak HTEA'yı öneren tıbbi laboratuvarlar için bir teknik şartnameyi lisansladığını belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında, HTEA sürecinin ana adımlarını ve bu tekniğin laboratuvar tıbbi için uygulanmasına ilişkin verileri gözden geçirmişler. HTEA'nın kan çapraz uyumu, klinik kimya analitleri ve aynı zamanda bakım noktası testi (POCT) uygulanırken risk öncelik numarasının (RPN) önemli ölçüde azaltıldığı ortaya konulmuştur.

Yunusoğlu vd. (2016), bu çalışmada, imalat şirketlerinin bakım maliyetlerini azaltmak ve durağan hale getirmek için bir bakım planlama yöntemi geliştirilmiştir. Çalışma, Benzerlik Tercihine Göre Sıralama Metodu (TOPSIS) ve hata türü ve etkileri analizi (FMEA) tekniklerine benzer biçimde sipariş tercihi için bulanık tekniğe dayanır ve bakım planlama kararlarını dinamik bir şekilde desteklediği belirtilmiştir. Önerilen yöntem genel ve çeşitli sektörlerde bir dizi imalat ortamına kolayca adapte edilebilir. Makinelerin bakım önceliklerini belirlemek için bulanık TOPSIS tekniği kullanılır. Bu bağlamda, FMEA tarafından "risk öncelik numarası" ve "güncel teknoloji", "ikame", "kapasite kullanımı" ve "kara katkı" kriter olarak kullanılır. Ortaya çıkan bakım planının performansı izlenir ve makinelerin bakım öncelikleri bu yöntemle güncellenir. Önerilen çerçevenin uygulanabilirliğini doğrulamak için uluslararası bir gıda şirketinde gerçek anlamda bir uygulama sunulmaktadır. Uygulamanın sonuçları, önerilen bakım planlama yönteminin uygulamada etkili ve verimli bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Hajiagha vd (2016), yazarlar yaptıkları çalışma ile toplu taşımanın, bu on yılda medeniyetin kritik bir parçası olduğuna değinilmiştir. Yatırım yapılan para miktarı ve insanları kabul edilebilir bir sürede ve herhangi bir çatışma yaşamadan nakletmenin kritikliği, özellikle metropollerde yöneticiler için zor bir sorun olduğunu belirtilmiştir. Ayrıca kesin olarak, bu alandaki etkili kararlar vermenin farklı yönlerini dikkate almak gerektiğini savunmaktadırlar. Bekleme süresi, toplu taşıma kalitesinin belirlenmesinde önemli bir kriterdir. Bu çalışmada Tahran (İran) metro sisteminde gecikmenin nedeni sıralamasına gerçek bir vaka incelemesidir, belirsizlik altında V ve Kriterijumsko Optimizocija I Kompromisno Reenje (Sırpça, VIKOR) yönteminin geliştirilmesiyle çözülmüştür ve burada bu belirsizlik şu şekildedir: Fuzzy Belief Structures (FBS) tarafından belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, daha önce önerilen FB5'li Benzerlik Tercihine Göre Sıralama Metodu (TOPSIS) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, insanla ilgili konularda hat ve ulaşım sistemi ile ilgili sorunların gecikmenin en önemli nedenlerini gösterdiğini sunulmuştur. Sorunun elde ettiği sonuçlar karar vericiler için kabul edilebilir bir değer olduğu yargısına varılmıştır.

Rahimi Vd (2013), bu bildiride, bir hizmet ortamındaki olası hataların belirlenmesi, değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi için entegre bir yaklaşım önermektedir. Bu entegre yaklaşım, maliyet önemli bir konu olarak görülmekte ve başarısızlıkların daha iyi önceliklendirilmesi için maliyet tabanlı Fuzzy, hizmete özgü FMEA (FCS-FMEA), Gri İlişkisel Analiz (GRA) ve karlılık teorisini birleştirmektedir. Ve ayrıca karlılık teorisinde, düzeltici faaliyet maliyetlerini de hesaba katılmıştır. FCS-FMEA ve GRA ile karlılık göz önüne alındığında, hata oluşumunun neden olduğu kayıpları azalttığı söylenmiştir. Ayrıca, düzeltilecek hataların en iyi karışımını seçmek için bir maksimizasyon edilmiş doğrusal matematik problemi kullanılmıştır. Yaklaşım Kore Seul'de bulunan bir hastanenin Dahiliye servisinin olası hata belirlenmesine ilişkin bir örneğe uygulanmıştır. Mevcut bütçeyi göz önüne alarak düzeltilecek hataların en uygun karışımını belirten ve en iyi çözüm yolunu üreten ticari bir çözümleyiciyle ilgili maksimizasyon sorunu, çalışmada çözülmüştür.

Silva vd (2016), yayınladıkları çalışma ile büyük verilerin, dört ana yolla diğer klasik veritabanlarından farklı muazzam veri kümelerini belirtmek için kullanıldığını belirtmişlerdir. Bunlar, hacim, hız, çeşitlilik değerleridir. Genel olarak, veriler dağınık bir biçimde ve hesaplama düğümlerinde depolanır ve bu yüzden büyük veriler hacker saldırılarına karşı daha korunmasız bir durumda olmaktadır. Bu bildiride, Büyük Veri için, Hata Türü ve Etki Analizi (FMEA) ve Gri Teori, daha doğrusu gri ilişkisel analiz içeren bir risk modeli sunulmaktadır. Bu yaklaşımın birçok avantajı olduğunu açıklanmıştır. Çalışmada Büyük veri risk faktörlerinin etkisini birleştirmek için yapılandırılmış bir yaklaşım önerilmiştir. Büyük verilerin genel riskini azaltarak riskin değerlendirilmesini kolaylaştıracağı açıklanmıştır. Verimli değerlendirme kriterleri ile işletmelerin büyük verilerle ilişkili riskleri azaltmasına yardımcı olabileceği kanısına varılmıştır. Önerilen yöntemin pratikte uygulanabilirliğini göstermek için gerçekçi veriler içeren sayısal bir örnek geliştirilmiştir. Bu sayısal örnek, dört boyutu, yani tanımlama ve erişimi yönetmek, cihazı ve uygulamayı kaydetmek, altyapıyı yönetmek ve veri yönetimi ile büyük verilerin güvenlik açıklarıyla ilgili 20 başarısızlık türü analiz edilmiştir. Sonuçlar, büyük verilerin riskinin en önemli yönünün veri yönetimi ile ilişkili olduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Hata Türü ve Etki Analizi

Yoğun rekabet ortamında, sistem ve süreçlerini etkin bir şekilde oluşturan ve yöneten, verimliliği arttırmaya ve sürekli geliştirmeye, analize ve iyileştirmeye önem veren işletmeler, ancak çalışma hayatına devam edebilmektedir. Bu nedenle işletmeler, rekabet edebilmek, kaliteli ve yüksek güvenilirlikli ürün ve hizmet ortaya koyabilmek için birçok süreci gerçekleştirmekte ve bu süreçleri gerçekleştirirken de beklenmeyen durumlarla yani, risklerle karşılaşmaktadır (Aytaç, 2011). Risk konusu ve risk yönetimi fonksiyonu, işletmelerde önemli bir çalışma alanı haline gelerek birçok işletme için rekabet aracı olarak düşünülmekte ve endüstriler tarafından, faaliyet alanlarındaki farklılık nedeniyle farklı tanımlanabilmektedir. Örneğin, sigorta ve finansal endüstriler, riski para birimi cinsinden görürken; kimya veya uzay endüstrisindeki üretim işletmeleri riski, insan yaralanmaları ile sonuçlanan ürün hataları olarak görmektedir (Davie, 2008).

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) (FMEA- Failure Mode and Effect Analysis) kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Türkçe kaynaklarda ise en genel olarak “hata türü ve etkisi analizi” olarak kullanılmaktadır. Ayrıca “hata türleri ve etkileri analizi”, “hata şekli ve etkileri analizi”, “hata modu ve etkileri analizi”, “hata türü, etkileri ve kritiklik analizi”, “hata modu, etkileri ve kritiklik analizi” olarak da kaynaklarda geçmektedir (Aytaç, 2011).

Kısaca HTEA’ni tanımlarsak, bir sistemde ve/veya süreçte meydana gelen ve ortaya çıkma olasılığı olan Hata ve eksiklikleri değerlendirmek ve bunların meydana getirebileceği etkilerin ortaya çıkmasını engellemek amacıyla yapılan iyileştirme işlemidir. Ayrıca HTEA’nın yazınlarda birçok farklı tanımlamaları yapılmaktadır. En çok karşılaşılan birkaç tanımına aşağıda da yer verilmektedir. HTEA, “sistem, tasarım, süreç veya hizmette oluşabilecek hataların (problemler, yanlışlıklar, riskler vb.) değerlendirmesini yapan özel bir yöntem bilimdir.” (Akın, 1998).

HTEA, “müşteriye ulaşmadan önce sistemden, tasarımdan, süreçten ve/veya hizmetten kaynaklanabilecek ve/veya potansiyel hataların, problemlerin, yanlışların tanımlanmasına, belirlenmesine ve giderilmesine sağlayan bir mühendislik yöntemidir.” (Stamatis, 2003).

HTEA, “ürünün tasarımını ve montaj süreçlerinin değişkenliklerini, daha iyi kontrol altına alabilmek veya ortadan kaldırabilmek için kullanılan güçlü bir kalite aracıdır.” (Musubeyli Erginel, 2004).

Hata Türü ve Etkileri Analizi, potansiyel hataları tanımlamak ve bu hataları öncelik sırasına koymak için bir bilgi seti, bir süreç ve bir formdur (Pande vd., 2000).

Önleyici faaliyetlerin uygulanmasında yöneticilerin karşılattıkları sorun, hangi faaliyetin daha öncelikli olduğuna karar verme noktasında ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, hata önleme tekniklerinde hataları risk derecesine göre önceliklendirebilme özelliği de aranmaktadır. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) bu özelliği yöntembiliminde barındıran bir tekniktir (Söylemez, 2006).

Bu tanımlardan yola çıkarak, “Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA), bir organizasyona ait müşterilerin talep ve beklentilerini karşılamak amacıyla nihai ürünün müşterilerin beğenisine sunulmadan evvel süreçlerde ve bu süreçlerle birlikte düşünülmesi gerekli olan sistem, servis ve tasarım aşamalarındaki hataların tespit edilerek önlenmesine ilişkin organizasyon içerisinde kullanılan bir metottur.” şeklinde genel bir tanım yapılabilir. HTEA, olası hata türlerini ortaya çıkarmada ve bu hata türlerini ortadan kaldırmada HTEA ekibine, aşağıdaki soruların cevaplarını bulmalarında, kendi öznel değerlendirmelerini ve deneyimlerini kullanmasına olanak sağlayan bir yöntemdir (Zaitri vd., 1991):

- Neler yanlış gidebilir?
- Bu yanlışın nedenleri nelerdir?
- Bu yanlışların etkileri nelerdir?

HTEA, işletme içerisinde süreçlerin, nesnel olarak ortaya konması olarak düşünülse de aslında, hataların ortaya çıkma olasılığını ve etkisi olabildiğince azaltmaya çalışan ve bir hata ortaya çıkması durumunda bu hatayı ortadan kaldırmaya yönelik faaliyetleri bulmayı hedefleyen bir yöntem olarak düşünülmelidir (Pelaez, 1994). Ayrıca, HTEA potansiyel hata türlerini ortaya çıkartmakla kalmayıp aynı zamanda takım çalışması olmasından dolayı konu ile ilgili tüm sorumlu kişilerin birbirleri ile iletişimini sağlamaktadır (Musubeyli ve Erginel, 2004). Ve böylece işletme içi iletişimsizlikten kaynaklı hatalar ortadan kaldırılır ve problemlerin çözümü sağlanır. Bu anlamda, başarılı bir HTEA çalışması; süreçteki eksikliklerin daha hızlı ortaya çıkartılması, uygulanan işletmede daha yüksek ürün güvenilirliği, daha az tasarım değişikliği, daha iyi bir kalite plânlaması, ürün ve süreç tasarımında sürekli gelişme, üretim sırasında daha az değişiklik ve daha düşük üretim ve geliştirme maliyetleri gibi yararlar sağlar (Teng ve Ho, 1996; Wirth vd., 1996).

Başarılı bir HTEA için uygulama henüz başlamadan aşağıda belirtilen üç koşulun işletmeler tarafından iyi bilinmesi gerekmektedir (Stamatis, 2003; Eryürek ve Tanyaş, 2003):

- İşletme içinde tüm problemler birbirinin aynısı olmayıp, problemlerin önem derecelerine göre öncelikleri farklı olabilmektedir.
- Analiz edilecek müşterinin başka bir deyişle, hedef müşterinin tam olarak tanımlanması gerekmektedir
- Asıl iyileştirmek veya geliştirmek istenen ürün, hizmet, fonksiyon veya süreç tam olarak tanımlanmalı, bunlara ilişkin amaçlar ve kurallar, tam olarak bilinmelidir.

Bir HTEA uygulamasının başlatılması için müşteri talepleri, düzenleyici ve kanuni gereklilikler, ürün tasarım gereklilikleri, iyileştirmek ve geliştirme ihtiyacı ve süreç planlaması gibi nedenler yeterli olmaktadır (Davie, 2008).

Bir işletme tarafından HTEA, genel olarak şu durumlarda kullanılabilir. (Stamatis, 2003; Eleren, 2007):

- Yeni bir sistem, ürün, hizmet, süreç ve yöntem tasarımına ihtiyaç olduğunda,
- Mevcut sistemde, üründe, hizmette, süreçte, yöntemde nedenine bakılmaksızın bir değişiklik yapılmak istendiğinde,
- Bir geliştirme veya iyileştirmek ihtiyacı hissedildiğinde,
- Yeni uygulamalar bulunduğunda.

Daha önce de belirtildiği gibi HTEA uygulamalarının asıl amacı, müşteriler tarafından tanımlanan zorunlu ihtiyaçlar, ürün kalitesi ve güvenilirliği, ürün kalitesinin ve güvenilirliğin sürekli iyileştirilmesi ihtiyacı, ürün ve süreç iyileştirilmesi, üretim sorumluluğu ve güvenlik konuları, geri alma, garanti vaatlerinin ve müşteri şikâyetlerinin azaltılması olabilmektedir. Bu anlamda HTEA uygulaması ile işletmenin gerçekleştirmek istediği amaçlar, kısaca şunlar olmaktadır (Yılmaz, 2000):

- Üründe veya süreçte oluşabilecek potansiyel hataları, tasarım aşamasında önceden belirlemek, bu hataların oluşmasını engellemek ve onları, ortadan kaldırmak veya etkilerini olabildiğince azaltmak için düzeltici önlemler almak,
- Ürünün planlanan tasarım karakteristiklerini analiz etmek, bunların üretime uygunluğunu kontrol ederek nihaî ürünün, öngörülen ihtiyacı karşılamasını sağlamak,
- Tasarımdan satış sonrasına kadar tüm faaliyetleri yazılı hale getirerek süreçlerin geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerini ortaya koyabilmektir.

HTEA, daha çok ürünün ve sürecin geliştirilmesine odaklanarak, ürünlerin veya süreçlerin tasarımını sistematik olarak gözden geçiren bir yöntem olarak günümüzde hemen hemen tüm üretim ve hizmet işletmeleri tarafından uygulanmaktadır (Yılmaz, 2000). Başarılı bir HTEA'nın tamamlanması için belirlenmiş kesin bir süre olmamakla birlikte gerekli süre, işletmenin analize

ilişkin durumuna, amaçlarına veya incelenecek sistemin karmaşıklığına, bilgisine, sahip olduğu eğitilmiş çalışanına bağlı olmaktadır (Stamatis, 2003).

HTEA'da veri toplanması sırasında objektif olunması gerekmektedir. Objektiflik burada, hata türleri belirlendikten sonra, ilgili kayıtların tutulması sonucu elde edilecek veri ile uygulamadaki mevcut durum arasındaki uyumdur. Bu uyum, istatistiki verilerin orta ve uzun vadeli HTEA çalışmalarında daha sağlıklı sonuçlar vermesini sağlayarak iyileştirme çalışmasının sağladığı faydayı ortaya çıkaracaktır. Bu sayede, sistemli bir analiz yapabilmenin de yolu açılacaktır. Hata türlerine ait önem, oluşma olasılığı ve keşfedilebilirlik değerlerine ilişkin sayısal ağırlıklandırma, elde edilen veriler ışığında gerçekleştirildikten sonra, Risk Öncelik Sayıları (RÖS), her bir hata türü için ayrı ayrı belirlenebilecektir. RÖS'ler belirlendikten sonra sıra, bu RÖS'leri önceliklendirmeye gelecek ve risk oluşturan hata türü sıralaması oluşturulacaktır (Yakıt, 2010).

HTEA çalışması bir organizasyonda uygulanırken, toplanan verilerin anlamlı olması ve her bir hata türü için; keşfedilebilirlik değeri, oluşma olasılığı değeri ve önem değeri belirlenmiş olması gerekir. Yani değerlerde bir eksiklik bulunmamalıdır. Bunun sağlanabilmesi için de firma içerisinde bir HTEA ekibinin kurulması ve bu ekibin hem sonuçların tarafsız olduğuna hem de verilerin tam ve eksiksiz bir biçimde ilgili hataya atandığına dair fikir birliğinde olması gerekir. Tarafsızlık tam anlamıyla HTEA'nın bütün uygulama aşamalarında sağlandıktan sonra sıra, HTEA formundaki hataların; keşfedilebilirlik, oluşma ve şiddet değerlerinin RÖS hesaplama tekniklerine uygun bir biçimde işleme alınmasına gelmektedir. Aslında HTEA'nın uygulanması, sanılanın aksine detaylı uygulamalar içermez. Sadece veri bütünlüğün sağlanabilmesi amacıyla eksik bilginin olmaması, olmazsa olmaz bir şarttır.

HTEA ile ilgili temel kavramlar (Taş ve Koç, 2009):

- **Hata Türü:** Bir sistemin veya sürecin fonksiyonlarını yerine getirememesi ve/veya eksik yerine getirme durumudur.

- *Hata Etkisi:* Bir hatanın neden olduğu sistem fonksiyonundaki değişikliği gösterir.
- *Hata Nedeni:* Hata türünün ortaya çıkmasında etkili olan unsurlardır. Bir hata türünün birden çok nedeni olabilir.
- *Keşfedilebilirlik (Saptama):* Hata türünün müşteriye ulaşmasını önleyen uygulamaların varlığına keşfedilebilirlik denir.
- *Oluşma olasılığı:* Hatanın ortaya çıkma sıklığını gösterir.
- *Önem:* Müşteriye yansıyan olası hata sonuçlarının düzeyidir.
- *Risk öncelik sayısı RÖS = Oluşma, Şiddet, Keşfedilebilirlik değerlerinin çarpımından oluşan değerdir.* çeşitli kaynaklarda risk öncelik puanı çeşitli yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Ancak klasik Htea 'da bu üç değer çarpımıdır.

HTEA sağladığı yararlar (Taş ve Koç, 2009):

- Ürün, üretim ya da hizmette hataların oluşturacağı en küçük zararın oluşumunun engellenmesini sağlamak için hata türlerini sistematik olarak gözden geçirmek
- Ürün, süreç, hizmeti ya da bunların fonksiyonelliğini etkilebilecek en küçük hata türünü ve bu hata türünün etkilerini tanımlamak
- Tanımlanan bu hata türlerinin hangilerinin ürün, süreç ve hizmet operasyonlarında en kritik etkilerinin olduğunu belirler, bu yüzden meydana gelebilecek en büyük hasarı ve hangi hata türünün hasara neden olabileceğini tanımlamak
- Montaj öncesinde üründe ve üretimde hataların oluşum olasılığını ve bunun nereden kaynaklanabileceğini (tasarım, operasyon, vb.) belirlemek
- Diğer kaynaklardan elde edilmesi mümkün olmayan hata oranlarını ve türlerini tanımlayarak gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlamak
- Güvenilirliğin deneysel olarak test edilebilmesi için gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlamak
- Bir ürün için değişikliklerin olabilecek etkilerini tanımlamak
- Yüksek riskli bileşenlerin nasıl güvenilir hale getirebileceğini tanımlamak

- Montaj hatalarının olabilecek kötü etkisinin nasıl giderilebileceğini tanımlamak

Yukarıdaki mühendislik avantajlarının yanı sıra ayrıca HTEA tekniğini kullanmanın başlıca avantajları şöyle sıralanabilir (Akın vd, 1998):

- Hizmet ve ürünlerin kalitesini ve güvenilirliğini artması,
- Şirket imajını iyileştirmesi,
- Rekabet avantajını arttırması,
- Müşteri doyumunu sağlaması,
- Ürün geliştirme zaman ve maliyetini azaltması,
- Tasarım geliştirmede bir öncelik sağlaması,
- En uygun sistem tasarımını seçmekte kolaylık sağlaması,
- Gelişim isteği doğurması,
- Organizasyon kültürünü arttırması,
- Ürünün, tasarım güvenilirlik, imalat teknolojisi ve emniyet alanlarındaki eksik zayıf ve yetersiz noktalarını belirlemesi,
- Olası değişiklik maliyetlerini azaltması,
- Ürünün pazara sunulma zamanını kısaltması.

HTEA'nin sağladığı avantajlar incelendiğinde bu yöntemin, işletmelerin pazarda yüksek güvenilirliğe sahip, kaliteli ürünleri düşük maliyet ile tasarlaması ve üretmesini sağladığı ve kötüye giden operasyon maliyetlerini kontrol altına alarak hataların müşteriye yansımadan en erken biçimde önlenmesine yardımcı olduğu görülmektedir. Geliştirdiği belgelendirme yapısıyla sürekli olarak güncelleştirilebildiğinden, uygulayan işletmelere sürekli kalite gelişimi müşteri memnuniyeti kazandırmaktadır.

Ayrıca HTEA, ürün ve süreçlerdeki potansiyel sorunlara karşı önlem almak için, tasarım ve geliştirme mühendisleri tarafından da kullanılan bir yöntemdir. HTEA; potansiyel ürün ve/veya süreç hatalarını bu hataların emniyet açısından etkisini ve bu hatalara karşı korunmak için atılması gereken adımların neler olduğunu belirleyen sistematik bir yaklaşımdır. Bir başka deyişle HTEA üretim öncesiyle de

bağlantılıdır ve potansiyel hata türlerinin ve nedenlerinin sıralanmasını da içermektedir.

HTEA'nın belirlediği gerekli etkinlikler, hataları önlemek ve müşteriye ulaştığında uygunsuzluğu ortaya çıkacak ürünlerin üretilmesini engellemektir.

Amacı; nihai ürünün müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşıladığından emin olmak için planlanan üretim ve montaj süreçleriyle bağıntılı olarak ürünün tasarım ve karakteristiklerini analiz etmektir. Potansiyel hata türleri belirlendiğinde onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemler alınır veya sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyelini azaltmaktadır. Aynı zamanda bir "HTEA", geliştirilen, montaj veya üretim için, sistemin dayandığı neden ve ilkeleri de belgelemektedir.

Proses HTEA, analitik bir tekniktir. Bu teknik; süreç hata türleriyle ilişkili ürünün potansiyelini belirler, hatanın müşteri üzerindeki etkilerinin potansiyelini ortaya çıkarır, potansiyel imalat ve montaj süreci hata nedenlerini belirler ve hata koşullarını ortaya çıkarmak için kontrole yoğunlaşmada gerekli olan önemli süreç değişikliklerini belirler. HTEA, düzeltici aksiyon nedenlerine öncelik verecek bir "Risk Öncelik Puanı" geliştirmek için ağırlık değerlendirmesi ile bağıntılı olarak oluşum ve hata olasılığını kullanır. Yeni veya gözden geçirilmiş bir sürecin analizi ve disipline olmuş bir hali, yeni bir modele veya bileşik programının imalat planlama devreleri boyunca, potansiyel süreç problemlerini beslemeye, çözmeye ve sonuçları görüntülemeye katkıda bulunur.

Titizlikle uygulandığı durumlarda, Bir HTEA; süreç geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerini özetler bu sistematik yaklaşım, bir mühendisin normal olarak süreç gereksinimlerini geliştirirken gözden geçireceği zihinsel disiplinle de paralellik göstermektedir.

Süreç HTEA, yeni makine teçhizat süreçlerinin geliştirilmesinde de yardımcı olur. Bu durumda method yine aynıdır; ancak, tasarımı yapılan makine veya teçhizat, ürün olarak düşünülür.

HTEA'nın amaçları;

Hata türü ve etki analizi öncelikli olarak ürün ve süreç geliştirme üzerine eğilen, disiplinli bir tasarım gözden geçirme işidir. HTEA tekniğinin öncelikli amaçları aşağıdaki gibidir.

- Ürün ve süreçte oluşabilecek potansiyel hataları önceden belirleyerek bu hataların oluşmasını engellemek.
- Son ürünün müşteri gereksinim ve beklentilerini karşıladığından emin olmak için, planlanan imalat ve montaj süreçleriyle bağıntılı olarak bir ürünün tasarım özelliklerini analiz etmek
- Potansiyel hata türleri belirlendiğinde onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemleri almak ve sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyellerini azaltmak.
- Montaj ve imalat süreçleri için, sistemin dayandığı neden ve ilkeleri yazılı hale getirmek.
- Titizlikle uygulandığı durumlarda, süreç geliştirilmesinde müdendislerin düşüncelerini özetlemek.

HTEA organizasyonu (Aytaç, 2011)

HTEA'nın yürütülmesi bir ekip işidir. Çalışma ekibi için uygun sayı kısıtı yoktur. sürecin tamamını değerlendirebilecek mavi ve beyaz yakalardan oluşturulmalıdır. Ekibe katılanların incelenen süreç tasarımı, üretimi, montaj ve kontrol işlemleri konularında bilgili ve deneyimli olmaları gerekir. Ekibin doğal üyeleri AR-GE, ÜR-GE ve kalite temsilcileri ve uygulayıcılardır. Ekibin bir lideri vardır. Ekip üyeleri incelenecek olan konuda bilgili, tecrübeli ve yapılacak olan işin gerektirdiği yetkili kişilerden oluşturulmalıdır. Çalışmaya katılacak olan bölüm temsilcilerinin bu yöntemi başarılı olarak uygulayabilmeleri için ön eğitim almaları gereklidir. VE her konuda nesnel bir değerlendirme yapmalıdırlar. Bu değerlendirmeler için gerekli çeşitli değerlendirme yöntemlerini anket, geçmiş yıllara ait istatiki verileri, dilek, şikayetler, beyin fırtınası, balık kılçığı (Neden-Sonuç) diyagramı, HTEA formları ve pareto analizi vb. kullanmalıdırlar.

Bir HTEA çalışma grubunun oluşturulması ve çalışması ise şöyle olmalıdır (Kadioğlu vd., 2009):

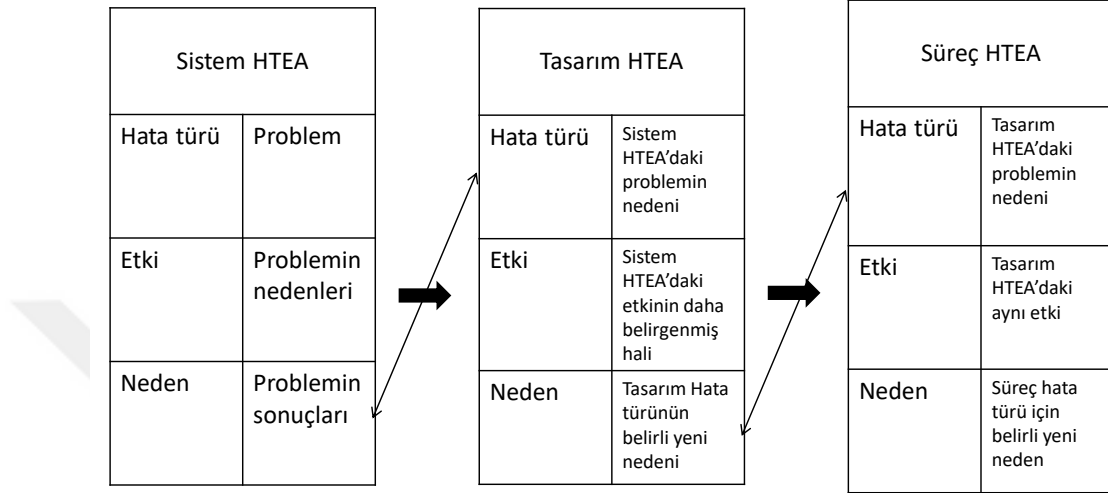
- Bir grup lideri seçilmelidir.
- Grubu oluşturan üye sayısı sürecin büyüklüğüne ve kapsamına göre değişebilir.
- Grup, sorumlu ve konu hakkında deneyimli ve süreci uygulayan kişilerden oluşmalıdır.
- Mühendislik kalite güvence, imalat bölümündeki üyeler doğal üyelerdir. Gerek olduğunda diğer bölümlerden geçici veya sürekli üye seçilmelidir.
- Bir HTEA çalışması iki aylık süreyi aşmamalıdır.
- Toplantılar 1 saatten fazla olmamalıdır.
- Çalışmanın sınırları belirlenmelidir.
- Toplantılar HTEA çalışmaları sonuna kadar periyodik olarak sürdürülmelidir.
- Doğru sonuçlar alınabilmesi için sayısal veriler kullanılmalı ve değerlendirme aşamasında objektif olunmalıdır.
- Olumlu sonuçların alınabilmesi için üst yönetimden kişilerinde grupta yer alması sağlanmalıdır. Bu durum ayrıca alınan kararların uygulanmasında kolaylaştıracaktır.

3.1.1. HTEA türleri

Günümüzde HTEA çalışmalarını, endüstrinin birçok alanında farklı uygulamalar ile görmek mümkün olmaktadır. Bu uygulamaları, parçaların veya alt sistemlerin tasarımı, üretim ve montaj süreçleri, global sistem fonksiyonlarına odaklanan sistemler, hizmet fonksiyonları şeklinde sınıflandırmak mümkündür (Rivera ve Leod, 2009).

Bu uygulamalar temel alınarak HTEA'nın çeşitleri konusunda literatürde farklı görüşler bulunmaktadır. HTEA türleri temelde dört ana başlık altında toplanabilmektedir. Bunlar sırasıyla;

- ❖ Sistem HTEA (SHTEA),
- ❖ Proses (Süreç) HTEA (PHTEA),
- ❖ Tasarım HTEA (THTEA),
- ❖ Servis HTEA (SeHTEA) Şeklindedir.

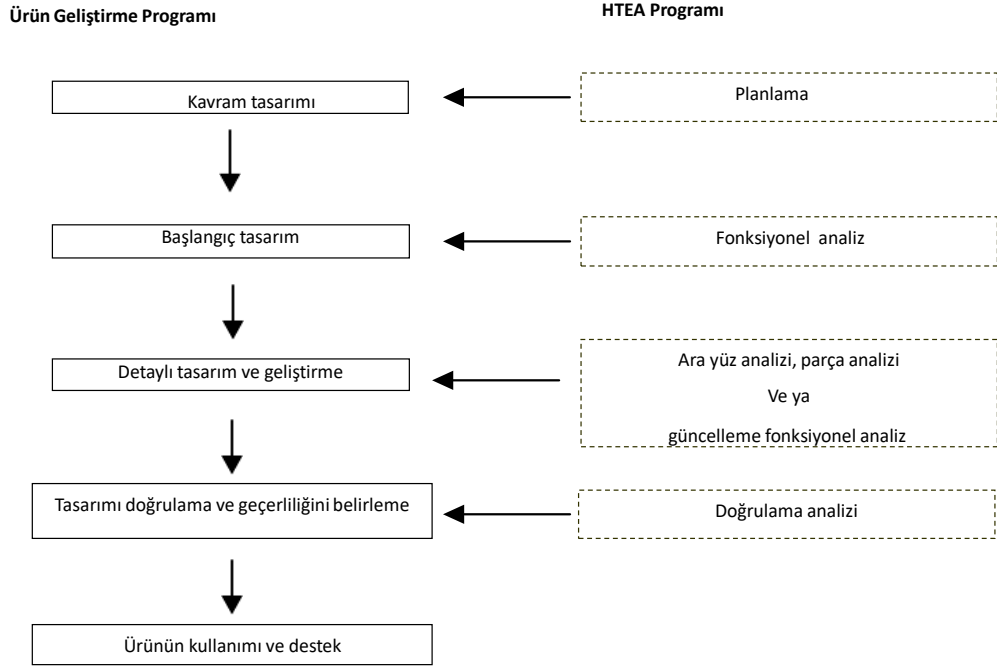


Şekil 3.1. Sistem tasarım ve süreç HTEA ilişki tablosu (Sofyalıoğlu, 2011)

Bu dört çeşit HTEA, ürünün veya hizmetin kavramsal geliştirme aşamasından tasarımına, testine kadar sistem tasarımının ve süreç geliştirmenin önemli bir parçası olmaktadır (Pelaez, 1994).

Sistem HTEA

Sistem HTEA sistemin tasarım aşamasındayken alt sistemlerle birlikte oluşturulması veya mevcut sistemin ve alt sistemlerin analiz edilmesi ve daha etkin bir şekilde kullanılabilir hale gelmesini sağlar (Bektaş, 2007). Sistem HTEA, fonksiyonlar arasındaki sistem kusurlarından kaynaklanan olası hatalara odaklanır. Ayrıca sistemler ve sistemin elemanları arasındaki etkileşimi de içerir (Öndemir, 2004). Bu tanımlamalardan yola çıkarak Sistem HTEA'nın şu şekilde ifade etmemiz mümkündür.



Şekil 3.2. Ürün geliştirme döngüsü ve HTEA programı (Bowles, 1998)

Süreç HTEA

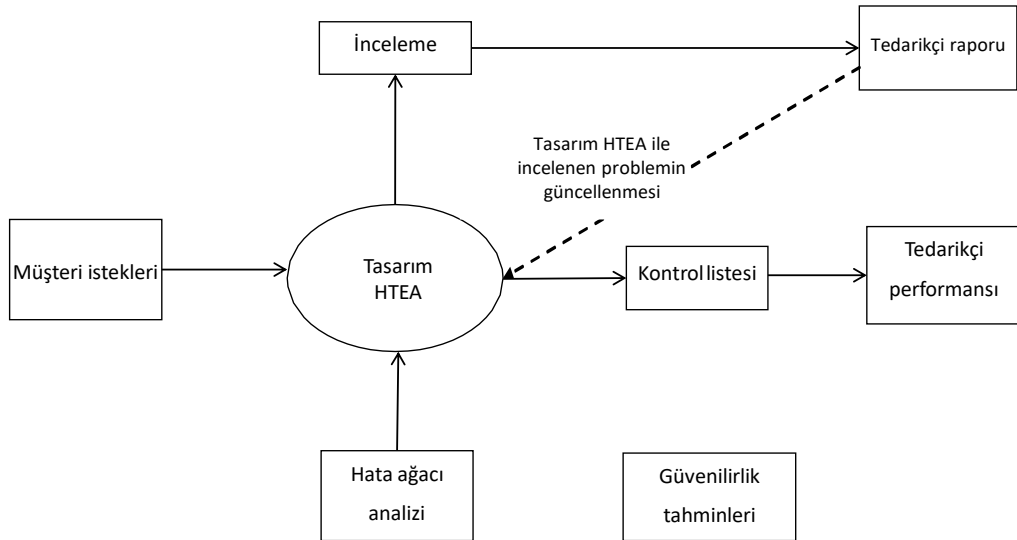
Süreç HTEA, tasarımı yapılmış ürünün en az hata ile müşteriye ulaşmasını sağlamak amacıyla, öngörülen özelliklere uyulmadığında imalat veya hizmet esnasında ortaya çıkacak sorunları tanımlamaya çalışır (Öndemir, 2004). Bu analiz üretim veya montaj sürecindeki eksiklerden doğabilecek hata türlerini ortadan kaldırmak ve süreç analiz etmek amacına hizmet etmektedir (Öztekin, 2006). Bir işletmede Süreç HTEA'nın kullanılabileceği durumları (Usuğ, 2002), şu şekilde sıralamıştır:

- 1- Bütün yeni ürünler ve parçalar,
- 2- Değişiklik yapılan ürün ve parçalar,
- 3- Yeni üretim teknolojilerinin uygulandığı bilinen ürünler / parçalar.

Bununla birlikte Süreç HTEA, süreçlere ait her bir aşamada oluşan hataların neler olduğunu belirleyerek bu hataların hangisinin ana süreç şeması üzerinde daha etkili olduğunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilen bir HTEA çalışmasıdır.

Tasarım HTEA

Tasarım HTEA, tasarım yaklaşımlarıyla ilgili kararların verilmesinde ve tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesinde yararlı bir araçtır (Canbolat, 2008). Tasarım FMEA ve müşteri tarafından tanımlanan kalite, güvenilirlik, maliyet ve verimlilik ölçütlerini sağlamak için mühendislik çözümleri üretmeyi hedefleyen bir yöntemdir (Usuş, 2002). Potansiyel veya bilinen hata türlerini tanımlayan, ilk üretim gerçekleşmeden hataların tanımlanması ve düzeltici faaliyetlerin uygulanmasını sağlayan bir yöntemdir (Yılmaz, 2000). Tasarım HTEA, hataların ürünün daha tasarım aşamasındayken önlenmesini sağlayan ve oluşan hatalarla ilgili olarak ta düzeltici faaliyetleri devreye sokan bir süreç iyileştirme yöntemidir.



Şekil 3.3. Tasarım HTEA diyagramı (Teng ve Ho, 1996)

Servis HTEA

Servis HTEA, Müşteriye servis hizmetlerinin ulaştırılması noktasında, servisin müşterilere sunulmasından önce yapılan analiz çalışmalarıdır. Bu analiz çalışmaları, servise ait sistem ya da işlem hatalarından kaynaklanan görev hataları üzerinde yoğunlaşmaktadır (Yakıt, 2010; Öndemir, 2004).

Çizelge 3.1. HTEA'nin dört tipi ve aralarındaki ilişki (Sofyalıoğlu,2011).

SİSTEM →	TASARIM →	SÜREÇ →	SERVİS
Bileşenler Alt bileşenler Ana bileşenler Odak: Sistemdeki hata etkilerini azaltmak. Hedef: Sistem kalitesini, güvenilirliğini ve Korunabilirliğini artırmak	Bileşenler Alt bileşenler Ana bileşenler Odak: Sistemdeki hata etkilerini azaltmak. Hedef: Sistem kalitesini, güvenilirliğini ve Korunabilirliğini artırmak	İnsan gücü Metot Makine Malzeme Ölçüm Çevre ↓ Makineler Araçlar İş istasyonlar Üretim hatlar Prosesler Ölçümler Operatör eğitimi Odak: Bütün süreçteki hata etkilerini azaltmak. Hedef: Proses (sistem) kalitesini, güvenilirliğini, korunabilirliğini ve verimliliğini artırmak	İnsan gücü İnsan kaynakları Makine Metot Malzeme Ölçüm Çevre ↓ İnsan kaynaklar Görev İş istasyonlar Servis hatlar Servisler Performans Operatör eğitimi Odak:Organizasyonda ki hata etkilerini azaltmak. Hedef: Kalite, güvenilirlik ve serviste müşteri tatminini artırmak

Servis HTEA'nın çıktısı olan konuları şu şekilde ifade etmektedir:

- 1- Olası hataların RÖS'e göre sıralanmış bir listesi,

- 2- Kritik ve/veya önemli görevlerin ya da işlemlerin bir listesi,
- 3- Olası darboğaz işlemlerin ya da görevlerin bir listesi,
- 4- Hataları yok edecek faaliyetlerin bir listesi.

Servis HTEA'nın çıktıları, genel-geçer HTEA uygulamaları sonucu alınacak çıktılardan çok da farklı değildir. Dolayısıyla; Servis HTEA, Tasarım HTEA, Süreç HTEA ve Sistem HTEA'dan hangisi kullanılırsa kullanılsın; amaç, hataların ortadan kaldırılmasıdır. Bunun sağlanması için de, organizasyonların HTEA çalışmalarına gerekli önemi vermesi gerekmektedir

3.2. Hata Türü ve Etki Analizinin Tarihsel Gelişimi

HTEA'nın geçmişi, çok uzun yıllara dayanmamakla birlikte günümüzde oldukça etkin bir şekilde kullanılmakta ve birçok uluslararası standardın bir parçası olarak kabul gören kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olmuştur. Askerî prosedür olan MIL-P- 1629 Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi'nin bir parçası olan HTEA, Amerikan ordusu tarafından ekipmanların ve askerî çalışmaların başarısının değerlendirilmesinin yapılmasında kullanılmak için geliştirilmiştir (Davie, 2008). HTEA, ABD'de ilk kez 1950'li yıllarda uçuş sistemlerinin kontrolünü yapmak için kullanılmıştır. 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından aya insan gönderme (Apollo) projesinde kullanılmış ve yaklaşık 10 yıl boyunca askerî sır olarak gizli tutulmuştur (Eryürek ve Tanyaş, 2003). 1965 yılında ise ABD Silahlı Kuvvetleri askerî standartları arasında yerini almıştır.

Endüstride 1970-1975 yılları arasında kullanılmış, 1975'te bilgisayar üretiminde ve Japon NEC firmasında uygulanmıştır. 1977'de otomobil endüstrisinde faaliyet gösteren Ford, 1985'de Fiat firmalarında olmak üzere özellikle, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamalardan sonra otomotiv endüstrisinde Chrysler ve General Motors'da uygulamaları yapılmıştır (Musubeyli Erginel, 2004). Böylece, Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi, özel sektör tarafından geliştirilmiş, yenilenmiş ve HTEA olarak geliştirilmiş, kritiklik sayısının yerine risk öncelik sayısı (RÖS) kullanılmaya başlanmıştır. Hatta çoğu

endüstri, bu analizi gerçekleştirmek için Automotive Industry Action Group(AIAG, 1993), The US Department of Defense (MIL-STD-1629A, 1984), the Society of Automobile Engineers (SAE J1739, 1994), the Verband der Automobileindustrie, Germany (VDA 96, Heft4, Teil 2, 1996) gibi kendi standartlarını belirlemişlerdir (Davie, 2008). Otomotiv endüstrisinde, ISO 9001 temeli üzerine kurulan ve TS 16949 Kalite Yönetim Sistemi adı verilen özel yeni bir sistem geliştirilmiş ve bu sistem ile ortaya çıkabilecek her türlü hatanın daha önceden araştırılması, belirlenmesi ve ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır (Atmaca ve Keskin, 2005).

3.3. Risk Öncelik Sayısı (RÖS)

Risk Öncelik Sayısı, literatürde çeşitli şekillerde ifade edilmiştir. Boran (1996)'a göre, Risk Öncelik Sayısı, kritiklik sayısı göstergesidir. RÖS her bir hata türü için “önemlilik”, “oluşma” ve “keşfedilebilirlik” gibi üç risk faktörü temel alınarak belirlenen bir sayısal değerdir.” Risk Öncelik sayısı, hata türlerinin birbirleri arasındaki göreceli önemini gösterir. RÖS, faaliyet önceliğinin değerlendirme ölçütüdür (Özay, 1999). Risk öncelik sayısı; önem, oluşma ve keşfedilebilirlik gibi üç dizi ölçüm değerlerinin ürünüdür. RÖS iş takip faaliyetleri için sistem veya alt sistemler içinde yer alan tanımlanmış potansiyel hata türlerine ait bir öncelik listesi oluşturmak için kullanılır (Davie, 2008). RÖS normal olarak hata türlerine ait önceliklendirilmiş bir listede kullanılan birimsiz bir ölçüm değeridir.

Daha yüksek değere sahip olan RÖS, önem değeri yüksek hata olayıdır (Abdelgawad, 2011). RÖS sistem içinde ortaya çıkan belirli bir hata türüne ait toplam riski ortaya koyar (Sequera, 2011). RÖS donanım karışıklığı, görev ihtiyaçları, performans kriteri, gereksiz değerler, hataların önemleri güvenlik, kanuni zorunluluklar ve diğer karşılaştırılabilir belli başlı ölçütleri dikkate alan bir etkinlik faktörüdür (Dean, 2003). Risk Öncelik Sayısı (RÖS), öncelik sayısı göstergesidir (Baysal, Canıyılmaz ve Eren, 2002). RÖS bir anlamda riskin ölçülmesinde kullanılır. Rhee (2005), “Risk, oluşma, önem ve keşfedilebilirlik probleminin bir ürünü olan risk öncelik sayısına (RÖS) bağlı olarak ölçülür.”

şeklinde ifade etmektedir. Yine burada önemli olan noktalardan birisi de RÖS değerinin hangi şekilde hesaplandığıdır.

3.3.1 Risk öncelik sayısı (RÖS) hesaplama yöntemleri

RÖS hesaplanırken çarpma veya toplama metotlarından herhangi biri kullanılır. Zammori ve Gabbrielli (2012), RÖS değerini oluşturan Occurence (Oluşma- O_i), Severity (Önem- S_i) ve Detectability (Keşfedilebilirlik- D_i) değerlerinin bir denklem vasıtasıyla şu şekilde bir araya getirildiğinden bahsetmiştir (Özkan ve Yakıt, 2013).

$$RPN_i = S_i O_i D_i \quad (3.1)$$

Denklem (1)'in çarpma metoduna göre düşünüldüğü açıktır. Buradan hareketle toplama metoduna göre oluşturulacak denklem aşağıdaki gibi olmalıdır;

$$RPN_i = O_i + S_i + D_i \quad (3.2)$$

Bununla birlikte; HTEA yapılan çalışmalara bakıldığında, RÖS için çarpma metodunun yaygın olarak kullanıldığı görülür. HTEA metodu ile gerçekleştirilen bir çalışma çok yararlıdır çünkü sistemin içindeki aksaklıkların neler olduğu ve sistemin çalışması hakkında bilgi sağlar. Alınan önlemler sonrası, yeni RÖS değerleri hesaplanır. Bu yeni değer kabul edilebilir olmalıdır. En büyük RÖS değeri 1000, en düşük RÖS değeri ise 1'dir. Kabul edilebilir RÖS sınırı işin yapısı, çalışanların tecrübesi, bütçe, çalışılan ülkeye ait yasalar ve benzeri kriterler göz önünde bulundurularak HTEA değerlendirme grubu tarafından belirlenir ve üst yönetim tarafından onaylanarak kabul edilir (Ünal ve Aykaç, 2010). Risk Öncelik Sayısı (RÖS), kritiklik sayısı göstergesidir (Baysal vd., 2002). Bu sayı hesaplanarak, öncelikle ele alınması gereken hata türleri belirlenir ve iyileştirme faaliyetleri bu sıraya göre gerçekleştirilir. Amaç, RÖS'ü 1'e doğru çekmek için çeşitli iyileştirmeler ve düzeltmeler yaparak işletme içi verimliliği en iyi seviyeye taşımaktır.

Toplama yöntemi

Toplama yönteminden bahsetmeden önce Risk Öncelik Sayısı (RÖS) kavramından bahsetmek yerinde olacaktır. Risk öncelik sayısı, hataların önem, oluşma olasılığı ve keşfedilebilirlik değerlerini kullanarak risk oluşturabilecek hataların önceliklendirilmesi amacıyla hesaplanan sayısal bir değerdir (Yakıt, 2010). Risk Öncelik Göstergesi, hata türlerinin birbirine nazaran göreceli önemini gösterir. Bu değer, hata endişelerini büyükten küçüğe doğru sıralamak için kullanılmalıdır (Usuğ, 2002). Risk öncelik sayısı çeşitli kaynaklarda çeşitli şekillerde isimlendirilebilmektedir. Bunların en yaygınları “RÖP” Risk öncelik puanı, RÖG “Risk öncelik Göstergesi” ‘dir ayrıca İngilizce yayınlarda Risk Priority Number kelimelerinin baş harfleri kullanılarak “RPN” olarak gösterilmektedir. RÖS değerinin büyüklüğü bizi işletme içerisindeki süreçlerin hata türlerinin önemi hakkında değerlendirme yapmamızı sağlar. Bir hata türünün Rös değeri ne kadar büyükse işletme içinde o hata türünün önemi açılığı o dercede büyüktür.

Toplama yöntemini açıklayacak olursak her bir hata türü için belirlenen Önem, oluşma ve keşfedilebilirlik değerlerinin toplamıdır. Bu üç değer işletme içinde HTEA uygulama ekibi tarafından her hata türü 1 ile 10 değerleri arasında önem düzeyine göre puanlandırılır. Ve bu toplamda çıkan sonuç o hata türüne ait RÖS değerini verir.

Bir hata türü için örneğin;

- ❖ Hata Oluşma değeri = 5,
- ❖ Hata keşfedilebilirlik Değeri = 6,
- ❖ Hata önem Değeri = 4 ise;

Toplama Yöntemine Göre;

$$RÖSHATA \text{ Değeri} = O + Ö + K = 5 + 4 + 6 = 15$$

Şeklinde hesaplanabilmektedir. HATA için bulunan bu RÖS değeri, diğer hata türleri ile kıyaslanacak ve bu RÖS değeri, hataların risk öncelik sıralamasındaki yerinin saptanmasında belirleyici olacaktır.

Çarpma yöntemi

Risk Öncelik Sayısının (RÖS) hesaplanmasında kullanılan bir diğer yöntem de *çarpma yöntemi* 'dir. Bu yöntemde ilgili hata türüne ait oluşma, keşfedilebilirlik ve önem değeri birbirleriyle çarpılmaktadır. Çarpma işlemi yazınlarda en fazla kullanılan yöntemdir. Hastane, elektrik şebekesi, imalat, savunma gibi birçok değişik alan süreçlerinde uygulanmıştır. 2011 yılında bir hastane müşteri memnuniyeti sürecinde 11 çeşit hata türüne çarpma işlemini uygulamışlardır (Geum vd., 2011).

Bir hata türü için örneğin;

- ❖ Hata Oluşma değeri = 5,
- ❖ Hata keşfedilebilirlik Değeri = 6,
- ❖ Hata önem Değeri = 4 ise;

Çarpma Yöntemine Göre;

$$RÖSHATA \text{ Değeri} = O \times Ö \times K = 5 \times 4 \times 6 = 120$$

Olarak hesaplanabilir. Bu RÖS değeri de tıpkı HATA için toplama yöntemi sonucu bulunan RÖS değeri gibi diğer hata türlerine ait RÖS değerleri ile kıyaslanacak ve risk öncelik sıralamasında belirleyici bir rol üstlenecektir.

3.4 Hata Türü Etki Analizinde Risk öncelikli Hata Türlerinin Tespiti

Gerek tasarım gerek süreç HTEA, hataların oluşma olasılığı, keşfedilme olasılığı ve önemine yönelik uzmanların tecrübe ve yargılarına dayalı değerlendirme puanlarının çarpılmasıyla hesaplanan Risk Öncelik sayısına (RÖS) göre

iyileştirme alanlarını saptanır ve öncelikli faaliyet alanlarını belirlenir (Chang ve di-ğerleri, 2009; Sankar ve Prabhu, 2001). RÖP değeri 1 ile 1000 arasında değişen bir kritiklik göstergesidir. Bu değerler hesaplanarak, öncelikle ele alınması gereken hata kaynakları belirlenir ve düzeltici faaliyetler bu sıraya göre gerçekleştirilir. Amaç, RÖS değerini 1'e yaklaştırmak için çeşitli iyileştirme faaliyetleri geliştirmektir (Sofyalıoğlu, 2011).

Risk Öncelik Sayısının hesaplanmasında;

Hatanın oluşma olasılığı (O); hatanın ya da onu oluşturan nedenin gerçekleşme olasılığıdır.

Hatanın Keşfedilebilirlik değeri (K); potansiyel hatanın, ürün müşteriye ulaşmadan önce farkedilmemesi olasılığıdır.

Hatanın Önemi (Ö); hata türünün müşteriye olan etkisinin önemini gösterir.

RÖS değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılık değeri olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında tanımlanan değerleri alınır. Hatanın ortaya çıkma olasılığı, fark edilmeme olasılığı ve şiddetine yönelik sayısal değer atamada kullanılan sayı aralığının büyüklüğüne ilişkin bir standart bulunmamakla birlikte, sıklıkla kullanılan değer aralığı 1-10 aralığıdır. Sayılara karşılık gelen olasılıklar ve sözel ifadeler Çizelge 3.2-3.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Chang'a göre önem, oluşma ve keşfedilebilirlik değerleri (Sofyalıoğlu,2011)

(a) Oluşma olasılığı		
Kriter	Puan	Olası hataların gerçekleşme olasılığı
Başarısızlık şansı uzak	1	0
	2	1/20000
Düşük hata oranı	3	1/10000
	4	1/2000
Orta düzeyde hata oranı	5	1/1000
	6	1/200
Yüksek hata oranı	7	1/100
	8	1/20
Çok yüksek hata oranı	9	1/10
	10	1/2
(b) Keşfedilme olasılığı		
Hatanın fark edilmeme olasılığı	Puan	Hatanın müşteriye ulaşma olasılığı
Uzak	1	0-5
	2	6-15
Düşük	3	16-25
	4	26-35
Orta düzeyde	5	36-45
	6	46-55
Yüksek	7	56-65
	8	66-75
Çok yüksek	9	76-85
	10	86-100
(c) Önemi		
Hatanın müşteriye etkisi	Puan	
Müşteri muhtemelen fark etmez	1	
Hafif rahatsızlık	2,3	
Müşteri memnuniyetsizliği	4,5,6	
Yüksek düzeyde memnuniyetsizlik	7,8	
Güvenlik / mevzuatla ilgili sonuçlar	9,10	

Çizelge 3.3. Oluşma sıklığı faktörü için dereceler

Puan	Seviye	Kriter
1	Yok	Pek mümkün olmayan hata
2	Çok zayıf	Nadir sayıda hata
3	Zayıf	Çok az hata
4	Küçük	Az hata
5	Orta	Arada sırada çıkan hatalar
6	Önemli	Orta düzeyde çıkan hata
7	Büyük	Kısmen yüksesayıda karşılaşılan hatalar
8	Ciddi	Yüksek sayıda karşılaşılan hatalar
9	Aşırı derecede	Çok yüksek sayıda karşılaşılan hatalar

Çizelge 3.4. Önem faktörü için dereceler

Puan	Seviye	Kriter
1	Yok	Etkisiz
2	Çok zayıf	Müşteriler şikayet etmez, sistem ya ürün performansında çok zayıf bir etki
3	Zayıf	Müşteriler çok az rahatsız eder, sistem ya ürün performansında zayıf bir etki
4	Küçük	Müşteriler için küçük boyutta sıkıntı olur, sistem ya ürün performansında küçük bir etki
5	Orta	Müşterilerde bazı memnuniyetsizlikler olur, sistem ya ürün performansında orta derecede bir etki
6	Önemli	Müşteriler rahatsız olur, sistem ya ürün performansında bozulur, kısmen hatalıdır ancak işlem görebilir ve güvenlidir.
7	Büyük	Müşteriler tatmin olmaz, önemli bir biçimde ürün performansı etkilenir, sistem zayıflar ancak işlevini yerine getirir ve güvenlidir.
8	Ciddi	Müşterilerde çok fazla tatminsizlik olur, ürün işlevsizdir ancak güvenlidir, sistem işlev dışıdır.
9	Aşırı derecede	Potansiyel riskli etki, hizmeti durduracak kapasitede, tamamen uyumsuzluk söz konusu.

Çizelge 3.5. Keşfedilebilirlik için dereceler

Puan	Seviye	Kriter
1		Kanıtlanmış keşifyöntemleri konsept aşamasında mevcut
2		Kanıtlanmış bilgisayar analizleri erken tasarım
3		Erken aşamada simülasyon ve modelleme
4		Erken prototip sistem elemanları üzerinde testler
5		Üretim öncesi sistem bileşenleri üzerinde testler
6		Benzer sistem bileşenleri üzerinde testler
7		Sistem bileşenleri ve prototipleriyle ürün üzerinde testler
8		Sadece ispatlanmamış ve güvenilmez teknikler mevcut
9		Bilinen uygun bir teknik yok

Çizelge 3.2 göre oluşma olasılığı, fark edilmeme olasılığı ve şiddetini ölçmek üzere 10 temel puan kullanıldığını gösterilmiştir. Hatanın ortaya çıkma olasılığına karşılık gelen olasılıklara değer atamada 1; en düşük olasılığı, 10 ise en yüksek olasılığı göstermektedir. Hatanın keşfedilme olasılığına karşılık gelen sayısal değerlerde ise 1; hatanın edilebilirliğinin kuvvetli yani müşteriye ulaşma olasılığının düşük olduğu durumunu 10 ise, fark edilebilirliğin düşük, müşteriye ulaşma olasılığının yüksek olduğu durumu ifade etmektedir. Hatanın şiddetine yani müşteriye olan etkisine karşılık gelen sayısal değerlerde ise 1; hatanın müşteriler tarafından farkedilmediği durumu, 10 ise, hatanın müşterilerde çok şiddetli memnuniyetsizliğe yol açtığı durumu ifade etmektedir. Bu önem derecelerine atanan değer, memnuniyetsizliğe, onarım masraflarına, can güvenliğinin tehlikede olup olmamasına bağlı olarak artacaktır (Tay ve Lim, 2006; Baysal vd, 2002; Raouf vd, 1996).

Ancak bu ölçüm aralıkları 1-10 değerleri arasında olma zorunluluğu bulunmamaktadır. İşletme içerisindeki süreçlerin hassasiyetine göre bu değerler çoğaltılıp azaltılabilir yani HTEA analizini uygulayan ekibin ön görüşüne göre değişiklikler yapılmasında bir sakınca yoktur. Çizelge 3.3, 3.4 ve 3.5'te ölçüm aralıkları 1-9 değerleri arasında belirlenmiş ve bu ölçüm değerleri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Bu tezin uygulama örneğinde de uygun işletmeye

uygunluğu bakımında 1-9 değerleri arasındaki izelge 3.3-3.5'teki değerler dikkate alınarak RÖS değerleri belirlenmiştir. Eğer Süreç işletme için kritik önem taşımakta işe aralık genişliği genişletilerek RÖS değerlerini çeşitlenmesinden dolayı daha hassas sonuçlar elde edilebilmektedir. HTEA ile bilimsel yazın incelendiğinde her bir süreç için farklı aralıklar kullanıldığı ortaya çıkmaktadır.

En büyük RÖS değerine sahip hata türü ilk olarak düzeltilmelidir. Risk öncelik puanlama ve değerlendirmede sınır veya baraj değer kullanımı, faaliyet ihtiyacı belirleme için önerilen bir uygulama değildir. Puanlama veya değerlendirmede sınır veya baraj değer uygulaması, RÖS'larının göreceli risklerin ölçüsü olduğunu ve sürekli iyileştirme gerektirmediğini var sayar (Potential FMEA, 2008).

Örneğin eğer izelge 3.6'daki değerlendirmede, müşteri gelişi güzel bir puanlamada ve değerlendirmede 100 sınır veya barajı uygularsa, tedarikçilerin, RÖS değeri 112 olan B karakteristiği üzerinde faaliyette bulunmaları gerekir. Çizelge 3.2, HTEA 'nde 5'li ölçek ve hatanın oluşma olasılığı, keşfedilebilirlik olasılığı ve önemini ölçmek üzere 10 temel puan kullanıldığını gösterir. Hatanın ortaya çıkma olasılığına karşılık gelen olasılıklara değer atamada 1; en düşük olasılığı, 10 ise en yüksek olasılığı göstermektedir. Hatanın fark edilmeme olasılığına karşılık gelen sayısal değerler de ise 1; hatanın keşfedilebilirliğinin kuvvetli yani müşteriye ulaşma olasılığının düşük olduğu durumunu 10 ise, keşfedilebilirliğin düşük, müşteriye ulaşma olasılığının yüksek olduğu durumu ifade etmektedir. Hatanın şiddetine yani müşteriye olan etkisine karşılık gelen sayısal değerlerde ise 1; hatanın müşteriler tarafından farkedilmediği durumu, 10 ise, hatanın müşterilerde çok şiddetli memnuniyetsizliğe yol açtığı durumu ifade etmektedir. Bu önem derecelerine atanan değer, memnuniyetsizliğine, tamir masraflarına, can güvenliğinin tehlikede olup olmamasına bağlı olarak artacaktır (Tay ve Lim, 2006; Baysal vd, 2002; Daya ve Raouf, 1996).

En büyük RÖS değerine sahip hata kaynağı ilk olarak düzeltilmelidir. Risk öncelik sayısı ve değerlendirmede sınır veya baraj değer kullanımı, faaliyet ihtiyacı belirleme için önerilen bir uygulama değildir. Puanlama veya değerlendirmede sınır veya baraj değer uygulaması, RÖS'larının göreceli risklerin bir ölçüsü

olduğunu (ki çoğu kez değildir) ve sürekli iyileştirme gerektirmediğini (ki gerektirir) varsayar (Potential FMEA 2008). Örneğin eğer Çizelge 3.6'daki değerlendirmede, müşteri gelişi güzel bir puanlamada ve değerlendirmede 100 sınır veya barajı uygularsa, tedarikçilerin, RÖP değeri 112 olan B karakteristiği üzerinde faaliyette bulunmaları gerekir.

Çizelge 3.6. RÖS hesabı için bir örnek (Potential FMEA, 2008)

Parça	Önem	oluşma	Keşfedilme	RÖS
A	9	2	5	90
B	7	4	4	112

HTEA, potansiyel ürün ve süreç hatalarını keşfetmek ve ilk adımlarda koruyucu önlemler almak suretiyle ürün tasarımı ve süreç planlamasının iyileştirilmesi için etkin bir araç sağlamaktadır. Bununla birlikte HTEA 'nın araştırmacılar tarafından dikkat çekilen, bu yaklaşımın mantığıyla ilgili bazı sakıncaları bulunmaktadır. Örneğin risk faktörlerine ilişkin farklı puanların çarpımıyla aynı RÖP değeri elde edilebilmektedir. Ayrıca RÖP hesaplamasında bu üç faktörün nisbi önem düzeyleri ihmal edilmektedir. Bu üç faktörün eşit önemde olduğu kabul edilir. Ancak bu durum uygulamada geçerli olmayabilir. Aslında araştırmalar bu üç faktörün nisbi önem düzeylerinin süreç veya ürünün yapısına dayanarak çeşitlendiğini göstermektedir (Sharma vd., 2005).

Daha önce de değinildiği gibi RÖS hesabında hatanın oluşma olasılığı, keşfedilebilirliği ve önemi ile ilgili olarak sayısal verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bilindiği gibi bu veriler uzmanların bilgileri ve yargıları kapsamında elde edilebildiğinden subjektiflik göstermekte ve sapmalar olabilmektedir. Ayrıca uzmanlar değerlendirmelerini sayısal temelde yapmaktan çok niteliksel olarak (Az, çok, gibi dilsel sözcüklerle) ifade etme eğilimindedirler. Bu sözcükler belirsizlikten çok, kötü tanımlanmış ifadeler olmaları nedeniyle kesin olmama halini arttırmaktadır. Bu tür dilsel ifade bulan faktörlerin, olasılık kullanan yöntemler ile doğrudan incelenmesi mümkün olmamaktadır (Öndemir vd, 2004). Yukarıda sayılmış olan bu eksikliklerin giderilebilmesi amacıyla, HTEA'nın bulanık teori veya gri teori yaklaşımlarıyla ele alınması çeşitli kaynaklarda önerilmektedir (Sofyalıoğlu, 2011).

Ben-Daya ve Raouf (1996), RÖS değerinin hesaplanmasında kullanılan faktörlerin ağırlıklarının ihmal edilmesinin uygun bir yaklaşım olmadığını ve hatanın oluşma olasılığının, keşfedilme olasılığından daha önemli olduğunu ifade etmiştir.

Chang ve diğerleri (1999) yapmış oldukları çalışmada, hem bulanık hem de gri teoriyi HTEA tekniği ile bütünleştirmişlerdir. Bu amaçla hatanın ortaya çıkma olasılığı, Keşfedilme olasılığı ve önemini ölçmek için 5 ölçekli bulanık üyelik fonksiyonu kullanılmış ve daha sonra sonra RÖP değerini hesaplayabilmek üzere gri teori modele dahil edilmiştir.

Chang ve diğerleri (2001), risk faktörlerinin ağırlıklarını dikkate alarak RÖS değerlerini gri teoriye göre yeniden hesaplamışlar ve elde edilen değerleri klasik uygulamanın sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Tay ve Lim (2006), geleneksel HMEA'nde RÖP değerlerinin hesaplamasında yukarıda bahsedilmiş olan dezavantajların giderilebilmesi amacıyla, RÖP değerlerinin hesaplanmasında bulanık çıkarsama tekniğini kullanmıştır. Bahsedilen çalışmada Bulanık RÖP yaklaşımı tanımlanmış ve bu yaklaşımın performansı yarı iletken bir imalat süreciyle ilgili bir vaka analizi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sharma vd (2005) HTEA'nde kullanılan bilgilerin subjektif ve kalitatif doğasından dolayı bulanık mantığı kullanan daha uygun ve mantıksal bir yaklaşım önermişlerdir.

Aşağıda ki çizelgede gösterilen örnekte, Chang vd (2001) tarafından geliştirilen gri HTEA modellemesine dayanarak bir sanayi uygulamasına yer verilmiş ve elde edilen sonuçlar klasik HMEA uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve yorumlanmaya çalışılmıştır.

Çizelge 3.7. Geleneksel HTEA süreci (Chang, 2001)

Parça fonksiyonu	Potansiyel hata türü	Potansiyel etkiler	Potansiyel nedenler	S_f	S_d	S	RÖS	Öncelik
PCB Ekleme	Dikkatsizlikten dolayı bileşen hataları	Modül hatası	Eğitimsiz operatörler(A)	7	1	5	35	6
			Yetersiz aydınlatma(B)	8	2	8	128	3
		Fonksiyonel olmama	Bileşenlerin uygunsuzluğu(C)	8	2	6	96	5
			Kötü bileşenler (D)	7	3	5	105	4
	Eksik Ekleme	Modül hatası	Operatör Hataları(E)	7	6	4	168	2
		Motorun ateş alması	Kötü PCB (F)	10	4	5	200	1

Çizelge 3.8. Ben-Daya ve Raouf'un revize ettiği HTEA modeli (1998)

Parça	Potansiyel hata türü	Potansiyel Etkiler	Potansiyel Nedenler	S_f	S_d	S	RÖS	Öncelik
A	Tür A	Etki A	Neden A	2^7	5	4	2560	4
			Neden B	2^9	10	4	20480	1
			Neden C	2^4	4	4	256	5
			Neden D	2^8	7	8	14336	2
	Tür B	Etki B	Neden E	2^7	4	8	4076	3

Yukarıda da çeşitli çalışmalarda belirtildiği gibi farklı hata türlerine aynı değerler verilerek yapılan toplama ya da çarpım yöntemi ile hesaplanan RÖS değerleri aynı sonuçları vermesi nedeniyle önceliklendirme işlemlerinde kesin yargıya varılamadığı açıklanmıştır. Bu çalışmada Kütle Çekimsel Gri HTEA yöntemi ile hata türleri arasında oluşan ilişkiler belirlenmekte ve önceki hata türünün bir sonraki işlemde doğuracağı etkilerden dolayı yüksek olan sonraki değer düzeltilmektense o hataya neden olan ilk işlemin düzeltilmesi mantığına dayanır birikimli ve her hata türünün birbirleri ile olan ilişkileri belirlendiğinden daha kesin sonuca yaklaşıldığı bu tezin uygulama örneğinde de açıklanmış ve gösterilmiştir.

3.5. Gri Sistem Teorisi

3.5.1. Gri modelleme

Gri Sistem Teorisi (GST) de bir sistem teorisi olarak 1980'li yıllarda geliştirilmiştir. 1982 yılında Prof. Deng Ju-Long tarafından "Control Problems of Grey Systems" (Gri Sistemler ile Kontrol Problemleri) başlıklı araştırma makalesi yayımlanmıştır. Bu makale GST'nin bahsedildiği ilk makaledir. Daha sonra çok kısa bir süre içinde hızlı bir şekilde yaygınlaşmış ve teorinin farklı yapıları birçok bilim adamı ve araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarla geliştirilmiştir. Belirsizlik durumlarının sayısallaştırılmasını amaçlayan tekniklerden biri olan GST, özellikle Bulanık Mantık yaklaşımına alternatif bir yöntem olarak sunulmuştur (Deng, 1989).

GST'nin ortaya çıkışındaki temel yaklaşım, stokastik veya bulanık yöntemlerle sonuçlandırılmayan belirsiz sistemlerin tepkilerini ya da analizlerinin, sınırlı sayıda veri yardımı ile tahminleyebilmek şeklinde olmuştur. Zaten belirsizliğin ve eksik bilginin olduğu durumlarda anlamlı sonuçlar elde etmenin zorluğuna karşın bunu sağlayabilme yeteneği nedeniyle tercih edilen bir çözüm teorisi olarak karşımıza çıkmaktadır (Liu ve Lin, 2006).

Gri sistem teorisi aşağıdaki alanlarda kullanılmıştır ve birçok alanda yeni çalışmalar yapılmaktadır (Aydemir, 2013);

- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| ❖ Endüstriyel sistemler, | ❖ Çevre ve ekolojik Sistemler |
| ❖ Sosyal sistemler, | ❖ Ekonomi analizleri, |
| ❖ Eğitim sistemleri, | ❖ Askeri sistemler, |
| ❖ Yönetim ve organizasyon | ❖ Trafik uygulama sistemleri |

GST temel olarak sistemler arasındaki ilişkinin analizi, model kurulması, tahmin ve karar problemlerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. GST araştırma ve uygulama metodolojisi olarak altı temel başlıkta toplanmıştır (Liu ve Lin, 2006).

- ❖ Gri üretim,
- ❖ Gri ilişki analizi,
- ❖ Gri karar verme,
- ❖ Gri tahmin,
- ❖ Gri modelleme,
- ❖ Gri kontrol.

Gri sistem teorisinin teorik olarak geliştirilmesi konusunda da bilimsel yazında birçok çalışmaya rastlanılmaktadır. Özellikle teorisinin ilk yıllarında; Cheng (1986) tarafından gri sistem teorisinin yapısına uygun olacak şekilde parametre değerleri tam olarak bilinmeyen bir sistem için geleneksel ve entegre gri tahminleme yapan bir denetleyici sistemi önerilmiştir. Daha sonra Deng (1989) tarafından yayınlanan “Gri Sistem Teorisine Giriş” (*Introduction to Grey System Theory*) başlıklı makale ile gri sistem teorisinin matematiksel işlem ve işlevleri ile kullanım alanları üzerinde yoğun bir ilgi başlamıştır (Aydemir, 2013).

Sosyal, ekonomik ve endüstriyel birçok sistem, GST ile incelenmektedir. Bunun başlıca nedeni, ilgili süreçlerden kaynaklanan belirsiz durumlar ve/veya eksik bilgidir. GST süreci tanımlanırken Siyah-Gri-Beyaz bilgi kavramı ön plana çıkmaktadır (Liu ve Lin, 2006). Burada;

- ❖ “Siyah” bilinmeyen bilgi,
- ❖ “Gri” kısmi bilinen-kısmi bilinmeyen bilgi,
- ❖ “Beyaz” tam bilinen bilgidir.

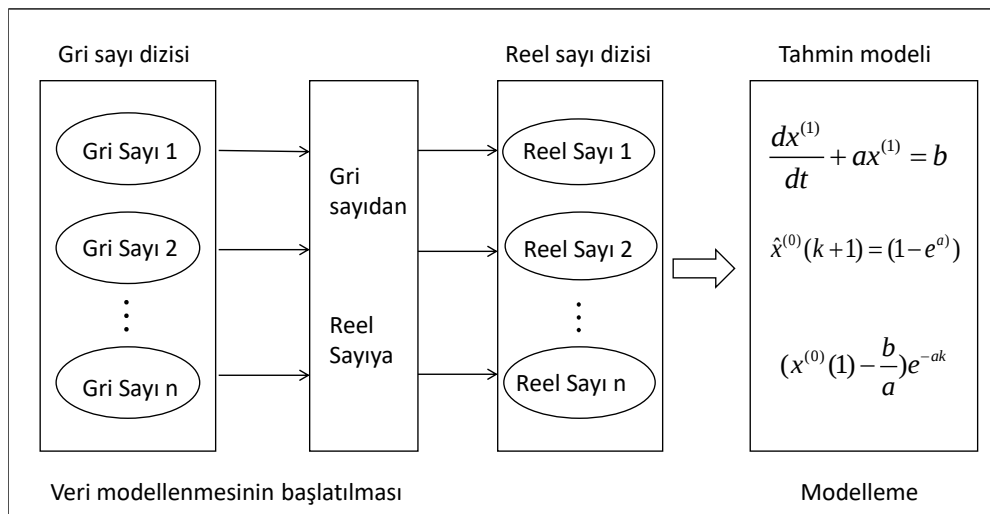
Gri sistem özelliklerine bakıldığında; kısmi bilinen-kısmi bilinmeyen ya da tamamlanmamış bilgi adı verilen karmaşık durumlar için belirli toleranslara sahip birden fazla çözüm önerilebildiği görülmektedir. GST açısından siyah-gri-beyaz sistemlerin karşılaştırılması Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Siyah, gri ve beyaz sistemlerin karşılaştırılması (Liu ve Lin, 2006)

	Siyah	Gri	Beyaz
Bilgi	Bilinmiyor	Tam değil	Biliniyor
Görünüm	Koyu	Gri	Parlak
Süreç	Yeni	Eski yerine yeni	Eski
Özellik	Kaos	Karmaşık	Düzenli
Yöntem	Olumsuz	Geçiş	Olumlu
Tutum	Müşamaha içerir	Tolerans	Netlik
Çıkarım	Sonuç yok	Birden fazla çözüm	Tek çözüm

Örneğin, bir kara-kutu sistemi verilsin kendi iç özellikleri veya kendi dinamiklerini tanımlayan matematiksel denklemler tamamen bilinmemektedir. Sistemin tanımı tam olarak bilinmiyor ise siyah olarak tanımlanır. Eğer tersi ise, beyaz bir sistem olarak adlandırılabilir. Orta derecede ise bu bir gri sistemdir. Her zaman bir sistemde bazı belirsizlikler vardır, çünkü her sistem gri sistem olarak modellenenebilir Gri modelleme ile önce siyah ya da gri veriler beyazlaştırılır ve gri tahmin yöntemi ile tahmin yapılır (Aydemir vd, 2013).

Eldeki mevcut verileri kullanarak gri model GM(1.1) yardımıyla geleceğe ilişkin tahminler yapılmasına fırsat verir. GM(1.1), gösterimi tek değişkene sahip birinci dereceden türevlenebilir eşitliklerin yer aldığı gri modeli ifade etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. Gri modelleme sistem şeması (Zeng vd., 2013)

3.5.2. Gri ilişki analizi

Gri ilişki Analizi, 1982 yılında J. Deng tarafından geliştirilmiştir (Deng, 1982). Örneklem hacminin düşüklüğü ve evren dağılımının ya da örnek değişkenliğinin bilinmemesi, bilinen ve çok kullanılan istatistik çözümleme tekniklerin güvenilirliğini etkilemektedir. Gerçek hayatta çeşitli nedenlerle(süre kısıtı, mali problemler, gerçekten veri sayısının azlığı v.b. nedenlerle) pek çok alanda alınan kararların yetersiz/sınırlı sayıda veri kullanılarak verildiği bilinmektedir. (Deng, 1982; Deng, 1989; Wu ve Chien-Ho, 2007).

Deng'in geliştirmiş olduğu Gri ilişki Analizinin temelinde bilinmeyen ya da tamamlanmamış bilginin "gri eleman" olarak tanımlanması yer almaktadır (Deng, 1989). Karar göstergelerini belirleyebilmek için gri bölge çözümlemesi kullanılmaktadır.

"Gri ilişki" belirli bir sistem içerisinde iki eleman ya da iki alt sistem arasında değişen ilişkinin ölçümünü ifade etmektedir. Analiz edilen elemanlar arasındaki benzerlikler ya da farklılıklar "gri ilişki" olarak isimlendirilmektedir.

Sistem geliştirme süreci içerisinde iki eleman arasındaki değişim sürekli olduğunda, gerçekleşen değişimler uyumlu olarak oluşuyorsa elemanlar arası daha yüksek aksi durumda ise daha düşük bir ilişki söz konusu olacaktır.

Gri ilişki analizi, sistemi temsil edecek göstergelerin seçiminde ve sıralanmasında kullanılmaktadır (Wu ve Chien-Ho, 2007). Likert ölçekli anketlerden elde edilen, kesikli değerler alan, verilerin çözümlemesinde izlenen işlem adımları basit ve sıradan matematiksel işlemlere dayanmaktadır. Verilerin çizelge biçiminde düzenlenmesi, işlemleri sırasıyla yapabilmeye kolaylık sağlayacaktır.

Genel olarak sistemler kurulurken sisteme etki eden faktörler ve bu faktörlerin birbirlerine olan bağımlılıkları üzerinden analizler yapılır. Faktörler arasında ilişkileri belirlemenin yanı sıra hangi faktörün öne çıktığının da önemi vardır. Örneğin regresyon analizi ile basit anlamda matematiksel yöntemler kullanarak

sistem faktörleri üzerindeki etki oranları incelenir. Yine de bu ilişkiler aşağıdaki zayıf yönleri sahiptir (Chih-Hung, 2003):

- 1- Güvenilir sonuçlar elde edebilmek için geniş kütledeki örneklerin kullanılmasına ihtiyaç olması
- 2- Mevcut verilerin bir takım tipik olasılık dağılımları göstermesinin istenmesi
- 3- Hesaplamaların bilgisayarlar aracılığıyla çok fazla yapılması
- 4- Bazen nicelik olarak yapılan analizlerin nitelik olarak yapılan analizlerle aynı sonuçlar içermemesi

Gri ilişki analizi bu zayıflıkların üstesinden gelerek bir sistemi oluşturan az sayıda ve eksik bilgilerden oluşan faktörler üzerine önemli bilgiler sunmaktadır. Bununla birlikte Gri ilişki analizi, belirsiz sistemlerin modellenmesi ve bilinmeyen bilgilerin tamamlanması üzerine analizler yaparak bir ilişki analizi yürütür (Chang, 2003).

Gri ilişki derecesi çözüm aşamaları

Adım 1: Gri ilişki analizi için yapılması gereken ilk iş X_i sistem faktörünü belirlemektir. $X_i(k)$ x 'e ait geçmiş verilerden oluşmak üzere bir seri oluşturur. $X_i(k) = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}$ $k=1,2,\dots,n$ dizisi sistemi oluşturan faktörlerin davranış dizisi olarak adlandırılır. $X_i(k) = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}$ eğer bir zaman serisi ise k değişkeni değişen zaman aralığını temsil etmektedir.

Adım 2: Bu adımda D1, D2, D3, D4 ve D5 serileri hesaplanır. D1 serisini operatör seri olarak tanımlarsak

$X_i D_1 = \{X_i(1) d_1, X_i(2) d_1, \dots, X_i(n) d_1\}$ olarak hesaplanır, yani;

$$X_i(k) d_1 = \frac{X_i(k)}{X_i(1)}, X_i(1) \neq 0, k=1,2,3,\dots,n \quad (3.3)$$

D2 operatörü ise denklem 2'deki şekilde hesaplanır;

$$Xi(k)d_2 = \frac{X_i(k)}{\overline{X_i}}, \quad \overline{X_i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_i(k), k=1,2,3,\dots,n \quad (3.4)$$

D2 operatörü ortalama operatör olarak adlandırılır ve Xi serisinin ortalama değerlerinden oluşur. D3 operatörü aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$Xi(k)d_3 = \frac{\Delta min + p\Delta max}{\Delta X_i(k) + p\Delta max}, k=1,2,3,\dots,n \quad (3.5)$$

D3 operatörü Xi 'nin görüntü aralığını belirler. Eğer Xi faktörlerinin davranış dizisi $Xi(k) \in [1,0]$, $i=1,2, \dots, n$ ise D4 operatörü de aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$Xi(k)d_4 = 1 - Xi(k), \quad k=1,2,\dots,n \quad (3.6)$$

D4 operatörü geri operatör olarak isimlendirilir ve Xi serisinin geri görüntüsü için bir dizi oluşturur. D5 operatörü ise aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$x_i(k)d_5 = \frac{1}{x_i(k)}, \quad x_i(k) \neq 0 \quad k=1,2,3,\dots,n \quad (3.7)$$

D5 karşılık operatörü Xid_5 serisini Xi serisinin karşılık serisi olara oluşturur. Veri kümesi $D=\{Di \ i=1,2,3,4,5\}$ olan D serisi gri ilişki operatörü olarak adlandırılır. X serisi tüm sistem faktörlerini temsil ederse, (X, D) veri seti sistemin gri ilişki faktörlerini belirleyen veri seti olacaktır.

Adım 3: Bu adımda gri ilişki katsayısı hesaplanır. Gri ilişki analizinde hesaplanan diğer bir değişken ise Gri ilişki katsayısı olan ξ değişkenidir, bu değişken aşağıdaki formülle hesaplanır (Slavek ve Jovic, 2012):

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta min + p\Delta max}{\Delta X_i(k) + p\Delta max} \quad (3.8)$$

Adım 4: Gri ilişki katsayısı hesaplandıktan sonra gri ilişki dereceleri aşağıdaki formülde gösterildiği gibi hesaplanır ve faktörler arasındaki sıralama gri ilişki derecelerine göre yapılır.

$$Y_i = \sum [\omega(k)\xi(k)] \quad (3.9)$$

3.6. Gri HTEA modeli

İlk kez 1982 yılında Julong Deng tarafından geliştirilen gri teori, eksik veya tamamlanmamış bilgiler altında belirsizlik problemlerini çözmede yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Buna ek olarak gri teori, kesikli veri setleri arasındaki çeşitli ilişkileri analiz etmede ve çok nitelikli durumlarda karar vermede kullanılan popüler bir yöntemdir. Bu yöntemin temel avantajları; sonuçların orjinal verilere dayanması, hesaplamaların basit ve kolay anlaşılabilir olması ve işletmenin bulunduğu çevrede karar vermek üzere en iyi yöntemlerden biri olmasıdır (Wu, 2002).

Bu teorinin temelinde bilinmeyen ya da tamamlanmamış bilginin “gri eleman” olarak tanımlanması yer almaktadır. Karar göstergelerini belirleyebilmek için gri bölge çözümlemesi kullanılır. Belirli bir sistem içerisinde iki eleman ya da iki alt sistem arasındaki benzerlikler ya da farklılıklar “gri ilişki” olarak isimlendirilmektedir. Sistem geliştirme süreci içerisinde iki eleman arasındaki değişim sürekli olduğunda, gerçekleşen değişimler uyumlu olarak oluşuyorsa elemanlar arası daha yüksek aksi durumda ise daha düşük bir ilişki söz konusu olacaktır (Kurt, 2008). Gri teori aşağıdaki özellikleri taşıması gereken kesikli sayısal ve niteliksel seriler arasındaki ilişkinin analiz edilmesini sağlar;

- Mevcut
- Sayılabilir
- Genişletilebilir
- Bağımsız

Chang ve diğerleri (2001), risk faktörleri tüm bu yukarıda sayılan özelliklere sahip olduğu için gri teorinin bu yönüne uygulanabileceğini ortaya koymuştur. Gri ilişki analizi, gri teorinin alt başlıklarından biridir. Bu analiz tekniği gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör (referans) serisi arasındaki ilişki derecesinin belirlenmesini sağlamaktadır. Her bir faktör bir dizi (satır veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak adlandırılır. HTEA’da Gri ilişki analizi aşağıdaki adımlara göre gerçekleştirilir (Chang ve diğerleri 2001);

Adım 1. Standart serilerin belirlenmesi

Standart seriler olarak adlandırılan k uzunluğundaki amaç serileri aşağıdaki gibi gösterilir.

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(k)\} \quad (3.10)$$

HTEA’da daha küçük puan, daha küçük riski ifade eder, bu yüzden standart seriler tüm risk faktörlerinin en küçük değerlerini alarak olarak sıralanır (Kuo vd., 2008).

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

Adım 2. Karşılaştırmalı serilerin saptanması

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

$$X_i' = (X_i'(1), X_i'(2), \dots, X_i'(K)) \in X \quad (3.11)$$

$$i=1, 2, 3, \dots, m$$

$X_i(K)$; X_i' ’nin k. faktörünü gösterir. Eğer bütün bilgi serileri kıyaslanabilir ise, n bilgi serisi aşağıdaki matriste olduğu gibi tanımlanabilir (Chang vd, 2001).

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1(1)X_1(2) & \cdots & X_1(k) \\ X_2(1)X_2(2) & \cdots & X_2(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n(1)X_n(2) & \cdots & X_n(k) \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

Adım 3. Karşılaştırmalı seriler ve standart seriler arasındaki farklılığın elde edilmesi

Gri ilişki derecesini ortaya çıkarmak için, karar faktörleri puanı ve standart seriler modeli arasındaki farklılık belirlenir. Her üç risk faktörü, her bir hata serisi için standart serilerle karşılaştırılır. Sonuçta, $\Delta_{\min}$ ve $\Delta_{\max}$ değerleri hesaplanır.

Adım 4. Gri ilişki katsayısının hesaplanması

İlişki katsayısını hesaplamak için, hata türünün her üç risk faktörü, standart serilerle karşılaştırılır ve ilişki katsayısı aşağıdaki formülle açıklanır:

$$\gamma(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta\Delta_{\max}}{\Delta_{0j}(k) + \zeta\Delta_{\max}} \quad (3.13)$$

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

$X_0(k)$; standart seriler

$X_j(k)$; karşılaştırmalı seriler

$$\Delta_{\min} = \min_{\forall j} \in \min_{\forall k} \|X_0(k) - X_j(k)\| \quad (3.14)$$

$$\Delta_{\max} = \max_{\forall j} \in \max_{\forall k} \|X_0(k) - X_j(k)\| \quad (3.15)$$

$\zeta \in (0,1)$ arasında ki belirleyici bir katsayıdır. Bu katsayının amacı Δ_{0j} ve $\Delta_{\max}$ arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar ζ değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir. Maksimum değerin ilişki katsayısına etkisini azaltmak amacıyla, genellikle bu katsayı $\zeta = 0.5$ olarak alınmaktadır (Kurt, 2008; Kuo vd, 2008; Wu, 2007).

Adım 5. Gri ilişki derecesinin belirlenmesi

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

$$\tau(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(X_0(k), X_i(k)) \quad (3.16)$$

n ; karar faktör sayısıdır (Wu, 2007).

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

$$\tau(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(X_0(k), X_i(k)) \cdot W_i(k) \quad (3.17)$$

Burada W_k ; faktörlerin ağırlıklandırma katsayısı ve

$$\sum_{k=1}^n W_k = 1 \quad (3.18)$$

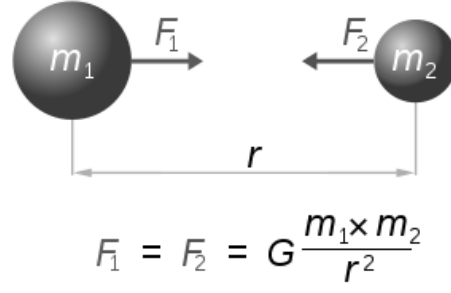
Klasik HTEA hatanın ortaya çıkma olasılığı, keşfedilebilirlik ve şiddetini gerçek dünyaya uygun biçimde atamayabilir. HTEA 'ne gri yaklaşım ise mühendislerin, araştırma ve üretim stratejilerine dayanarak karar faktörlerine nispi ağırlıklar atanmasına olanak sağlar.

Adım 6. Risk önceliğinin sıralanması

Karar verme problemlerinde standart (referans) seri ideal seri olarak seçildiğinde, karşılaştırması yapılacak faktör serilerinin referans seriye göre hesaplanacak gri ilişkisel derecesi kriterleri yakalama seviyesinin bir göstergesi olacaktır. Diğer bir ifadeyle gri ilişkisel derecesi en yüksek olan faktör serisi (alternatif) karar verme probleminde en iyi karar alternatifini gösterecektir. (Kuo vd, 2008; Wu 2002) Diğer bir deyişle $\gamma(X_0, X_i) \geq \gamma(X_0, X_j)$ ise X_i ve X_0 arasındaki ilişkisini X_j ve X_0 arasındakinden daha büyük olduğu söylenebilir. HTEA için bu potansiyel neden puanları ve karar faktörlerinin optimal değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Daha büyük ilişki derecesi hata kaynağının daha küçük etkisini gösterir. Bu yüzden giderek artan sırayla ilişki derecesi, iyileştirilecek olan potansiyel nedenlerin risk önceliğindeki azalmayı gösterir (Chang vd, 2001).

3.7. Önerilen Yöntem: Kütle Çekim Esaslı Gri HTEA

Kütle çekimi, nesnelerin birbirlerine doğru çekme kuvveti uygulamasına denir. Bu çekme kuvveti; cisimlerin kütleleriyle doğru orantılı, merkezleri arasındaki uzaklığın karesiyle de ters orantılıdır. Ve her kütle uzayda belirli bir yer kaplar. Büyük kütleler yakınındaki küçük kütleleri kendilerine doğru çeker (Cohen 1999).

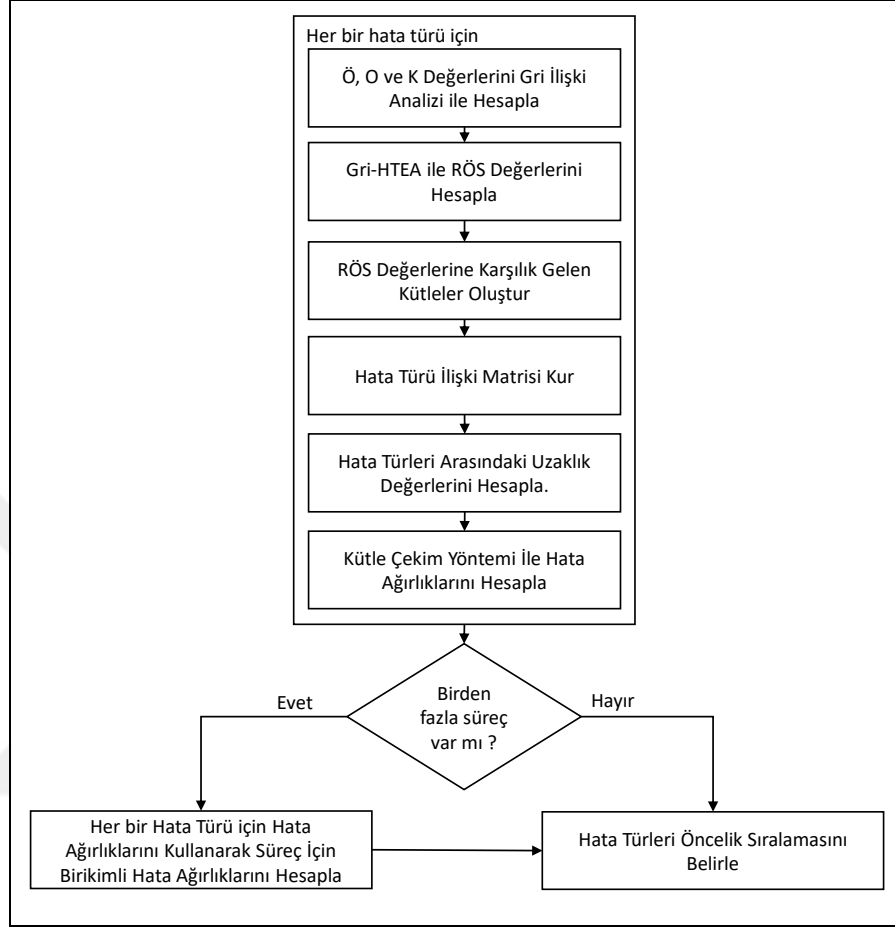


Şekil 3.5. Kütle çekim kuvveti formül ve gösterimi

Kütle çekim yasasından yola çıkarak bu kütle çekim kanunu prensibini bu çalışmada kullanılmış ve iyi değerler elde edilmiştir. Her bir hata fabrika organizasyonundaki bir işlemde ağırlık temsil etmektedir. Hata hatayı doğurur, ilkesinden yola çıkarak fabrika ortamı bir uzay boşluğu olarak görülmektedir. Ve her bir hatanın bir kütlesi, rengi ve yakın olduğu bir hatalar yörüngesi bulunmakta olduğu varsayılmıştır. En büyük hata yörüngelerindeki diğer küçük hataları kendisine çekerek bu hatalarla birleşip siyahlaşır. Belirli bir kütleyi aşan hatalar siyahlaşır ve kabul edilemez hata olup beyazlaştırılır.

Hataların birbirlerinden uzaklaştıkça ortaya koyacağı birikimli etki azalacağından (örneğin farklı parçalardaki malzeme hataları gibi) hata çekimi uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Bu aradaki uzaklığın (r) belirlenmesinde tez kapsamında yeni bir hata türleri arasındaki ilişkileri gösteren ilişki matrisi üzerinden öngörülmektedir. Hata kütleleri arttıkça çekim kuvveti artacak ve aynı ortamdaki hatalar birbirlerini çekerek birikimli bir toplam hata oranını ortaya çıkaracak ve kabul edilemeyecek büyüklükte bir hata olacaktır. Bu çalışmada bir işletme için hata eşik değeri belirlenip matematiksel bir denklem oluşturulacaktır. Gri ilişkisel hata türü ve etki analizi ile ortaya konulacak her bir belirsiz hatalar her birim için tahminlenecek tahminlenerek ortaya konan hata oranları kütle çekim yöntemi ile birleştirilip birikimli hatalar hesaplanıp tahmin edilecektir. Siyah kütleli eşik değeri aşan hatalar incelenerek düzeltme yapılarak süreç yeniden devam ettirilecektir. Böylece süreci etkileyen hata türlerinin belirsizlik altında önem seviyelerinin belirlenmesi, birbirleriyle olan

etkileşimlerinin sürece yansıtılması sonucu kritik hata türlerinin tespit edilmesi sağlanacaktır. Kullanılacak modelin algoritması Şekil 3.6’da verilmiştir



Şekil 3.6. Önerilen yöntemin algoritması

Uygulanacak model için süreçteki her işlem basamağı belirlenir ve algoritma haline ya da gant şemesi ile süreç içindeki yerleri tespit edilir. Her işlem basamağı aslında bir hata türünü barındırdığı için işlem basamaklarını hata türü ile sıralanabilir. Her bir hata türü Ö, O ve K Değerlerine sahiptir. Her hata türü için Ö, O ve K değerleri belirlenir. Eğer geçmiş yıllara ait veriler eksik ya da yok ise bu değerler gri tahmin yöntemi ile hesaplanır ve tablo haline getirilir. Tablo sırasıyla tablo matrisi haline getirilir.

Önerilen yöntem dördüncü adıma kadar Gri-HTEA ile aynı yapılan değişiklikler Adım 4 ile başlamakta ve aşağıdaki gibi devam etmektedir:

Adım 4: Hata türü ilişki matrisinin belirlenmesi

Üretim süreci aşamasında hata türlerinin birbirleri arasındaki ilişkinin tablollaştırılma halidir. Hata türleri arasındaki ilişki düzeyi uzaklık olarak isimlendirilir r sembolü ile gösterilir. İşletme içinde hata türleri uzaklık ilişkisi belirlenir ve tablollaştırılır.

Adım 5: Kütle Çekim matrislerinin oluşturulması

Sırasıyla önem oluşma ve keşfedilebilirlik değerleri için kütle çekim kuvvetleri sırasıyla çekim kuvveti hesaplanır ve her biri için kütle çekim matrisleri oluşturulur.

Oluşma: değerlerinin birbirlerine etki uzaklıklarına göre birbirlerine etki değerlerinin hesaplanması için kullanılan formül aşağıdaki gibidir.

$$F_{O(HTn,HTm)} = G \times \frac{HTom \times HTon}{R^2} \quad (3.19)$$

Keşfedilebilirlik: değerlerinin birbirlerine etki uzaklıklarına göre birbirlerine etki değerlerinin hesaplanması için formül aşağıdaki gibidir.

$$F_{K(HTn,HTm)} = G \times \frac{HTkm \times HTkn}{R^2} \quad (3.20)$$

Önem: değerlerinin birbirlerine etki uzaklıklarına göre birbirlerine etki değerlerinin hesaplanması için gerekli formül aşağıdaki gibidir.

$$F_{Ö(HTn,HTm)} = G \times \frac{HTöm \times HTön}{R^2} \quad (3.21)$$

Önem keşfedilebilirlik ve oluşma değerleri için bulunan değerler değerler ayrı ayrı toplamaları bulunur. Aşağıda formülüzasyon yazımı bulunmaktadır.

$$F_{\dot{o}top} = \sum_{F_{\dot{o}}=1}^n (F_{\dot{o}1} + F_{\dot{o}2} + \dots + F_{\dot{o}n}) \quad (3.22)$$

$$F_{otop} = \sum_{F_o=1}^n (F_{o1} + F_{o2} + \dots + F_{on}) \quad (3.23)$$

$$F_{ktop} = \sum_{F_k=1}^n (F_{k1} + F_{k2} + \dots + F_{kn}) \quad (3.24)$$

$$F_{top} = F_{otop} + F_{\dot{o}top} + F_{ktop} \quad (3.25)$$

Adım 6: İzafi ağırlıkların bulunması

Risk faktörlerinin önem düzeyini ağırlıklandırmaları istendiğinde ise, problemlerin Ö, K ve O değerleri oluşturdukları kütle çekim kuvvetlerine göre izafi olarak ağırlıklandırılacaktır. İzafi ağırlıklar aşağıdaki formüllerle bulunmaktadır.

$$W_{\ddot{o}} = \frac{F_{\dot{o}top}}{F_{top}} \quad W_o = \frac{F_{otop}}{F_{top}} \quad W_k = \frac{F_{ktop}}{F_{top}} \quad (3.26)$$

Ayrıca izafi ağırlıklar toplamı 1'e eşittir.

$$W_k + W_{\ddot{o}} + W_o = 1 \quad (3.27)$$

$$\sum_{k=1}^n W = 1 \quad (3.28)$$

Adım 7: Kütle çekim yöntemi ile ağırlıklandırılan gri rös hesaplanması

Bulunan izafi ağırlıklar gri röste maliyet üzerinden ya da sezgisel yöntemler üzerinden hesaplanırken kütle çekim yönteminde hata türlerinin birbirleri üzerinde oluşturdıkları etki ve bu etkilerin toplamında ortaya çıkaracağı etki üzerinden değerlendirilir. Her işlemdeki küçük hata türü etkilerinin birikiminde işletmeye getirebileceği zararı öngörebilmektedir. Aşağıda verilen formül kullanılarak kütle çekimsel gri rös değeri hesaplanır. Ve önem derecelerine göre sıralanır.

Her bir kriterin kütle çekimsel ağırlıkları bulunarak, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin kütle çekimsel önem derecesine ilişkin ağırlık değeri ile çarpılarak kütle çekimsel gri ilişki derecesi bulunabilir.

$$\tau(X_0, X_j) = \frac{1}{n} \sum \gamma(X_0(k), X_i(k)) W_i(k) \quad (3.45)$$

$$\sum_{k=1}^n W_k = 1 \quad (3.46)$$

Klasik HTEA hatanın oluşma olasılığı, keşfedilebilirlik değeri ve önemi gerçek dünyaya uygun biçimde atamayabilir. HTEA'ya gri yaklaşım ise mühendislerin, araştırma ve üretim stratejilerine dayanarak karar faktörlerine daha kararlı ağırlıklar atanmasına olanak sağlar (Sofyalıoğlu, 2011).

İşlemler sonucunda elde edilen değerler küçükten büyüğe doğru sıralanır. Ve önceliklendirme sıralaması yapılır. Elde edilen en küçük değer en önemli hata türü olarak belirlenir yani süreç içerisindeki en kritik hata türüdür. En kritik hata türünden başlanılarak süreç içerisinde iyileştirme işlemi yapılarak süreç daha verimli hale getirilir. Yöntem öncelikli hata türlerini ortaya koyarak süreç çalışanlarını gereksiz işlemlerde emek kaybı yaşamasını önler.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Uygulama Örneği

Uygulama işletmesi olan Paşa Metal İşletmesi., Antalya ilinde faaliyet gösteren ve her türlü çelik konstruksiyon işlerini yapan bir firmadır. İşletme üretiminin ağırlıklı kısmını çelik kapı üretimi oluşturmaktadır. Çelik kapı üretiminde Gri sistem teorisi kullanılarak Hata türü ve Etki Analizi için geliştirilen yeni bir model kullanılarak firmanın kapı üretimi risk değerlendirme sürecine yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu firmada, işletme küçük çaplı olduğu için üretim verimliliği toplam kalite yönetimi gibi çalışmalara önceki dönemlerde gerekli önem gösterilmemiştir. Firmanın üretim FMEA için RÖS sayısını hesaplayabilmek için gerekli olan olasılık şiddet ve keşfedilebilirlik değerleri bu değerlere ulaşılabilecek göstergeler ya hiç bulunmamakta ya da eksik veriler içermektedir.

İlk olarak kapı üretim hattı için hata türleri belirlenir. Bu hata türlerinin nedenleri ve açıklamaları yapılır. Bu hata türlerinin doğru belirlenmesi HTEA için kritik bir önem taşımaktadır. Bu işlem işletme ortamında her birimden temsilcilerin katılımıyla hiç bir ayrıntı gözden kaçırılmadan yapılmalıdır. Çizelge 4.1.' de işletme için hata türleri belirlenmiştir.

Hata türlerinin belirlenmesinin ardından kapı üretim hattı için htea analiz formu oluşturulur. Ve önem oluşma ve keşfedilebilirlik değerleri her türü için belirlenir. Eklerde verilen HTEA analiz formundan alınan önem (Ö), ortaya çıkma (O) ve keşfedilebilirlik (K) değerleri ve hesaplanan klasik HTEA yöntemine ait sıralama değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hata türü ve açıklamaları tablosu

Kodu	Hata türü	Cinsi	Açıklama
HT 1	Yanlış ölçü	Yanlış işçi eylemi	Yanlış-eksik ölçü alımı ya da tasarım
HT 2	Unutulan müşteri istekleri	Süreç sistem hatası	Müşteri isteğine bağlı kapı aksesuarları, rengi ya da tasarımdaki hatalar
HT 3	Yanlış sipariş	Süreç sistem hatası	Kapı için gerekli yarı mamülünde eksik ya da yanlış sipariş
HT 4	Kesim hataları	Yanlış işçi eylemi	İşçinin kesim sırasında yaptığı köşe açısı ve ölçülerdeki yanlışlıklar ve / veya eksik ya da fazla parça kesimi
HT 5	Kaynak hataları	Yanlış işçi eylemi	Yanlış ya da yetersiz kaynak işlemi
HT 6	Konstrüksiyon hataları	Yanlış işçi eylemi	İmalat sırasında mastarlara uyulmaması kapı boşlukları yanlışlıkları. Menteşe ve kilit mekanizmalarının hatalı montajı.
HT 7	Temizlik ve Taşlama hataları	Yanlış işçi eylemi	Taşlama işlemindeki eksiklikler ve ürün üzerinde antipas kalitesine etki edecek çapak ve/veya artık yağların bulunması.
HT 8	Antipas hataları	Süreç sistem hatası	Boya kalitesi yoğunluğundaki ve katman kalınlığındaki ve renk hataları.
HT 9	Boya hataları	Yanlış işçi eylemi	Boya kalitesi, yoğunluğu, katman kalınlığı ve renk hataları.
HT 10	Taşıma hataları	Yanlış işçi eylemi	Taşıma sırasında oluşan çizik ve darbeler.
HT 11	Montaj hataları	Yanlış işçi eylemi	Hatalı montaj terazi ve Gönyesizlikler ve montaj yerinde verilen zararlar.
HT 12	Müşteri memnuniyetini Sağlayamama	Süreç sistem ve yanlış işçi eylemi	Müşteri isteklerinin göz ardı edilmesi, kalitesiz ürün ve müşteriye kaba davranılması.

Çizelge 4.2. Hata türleri ve Klasik HTEA RÖS değerleri

Hata Türü	Klasik RÖS			Öncelik	
Kodu	Ö	O	K	Puanı	Sırası
HT 1	9	2	5	90	3
HT 2	4	5	3	60	7
HT 3	6	7	2	84	5
HT 4	8	4	2	64	6
HT 5	5	2	2	20	10
HT 6	9	3	2	54	8
HT 7	5	2	2	20	10
HT 8	6	7	2	84	4
HT 9	7	6	2	84	4
HT 10	8	9	2	144	2
HT 11	6	3	2	36	9
HT 12	9	2	9	162	1

Yukarıdaki tabloda bulunan Ö, O ve K değerleri alınarak referans matrisi meydana getirilir. Daha sonra bu matris değerinden fark matrisi oluşturulur ve Gri Ağırlık Katsayıları hesaplanır.

$$\begin{pmatrix} X_1(1) & X_1(2) & X_1(3) \\ X_2(1) & X_2(2) & X_2(3) \\ X_3(1) & X_3(2) & X_3(3) \\ X_4(1) & X_4(2) & X_4(3) \\ X_5(1) & X_5(2) & X_5(3) \\ X_6(1) & X_6(2) & X_6(3) \\ X_7(1) & X_7(2) & X_7(3) \\ X_8(1) & X_8(2) & X_8(3) \\ X_9(1) & X_9(2) & X_9(3) \\ X_{10}(1) & X_{10}(2) & X_{10}(3) \\ X_{11}(1) & X_{11}(2) & X_{11}(3) \\ X_{12}(1) & X_{12}(2) & X_{12}(3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9 & 2 & 5 \\ 4 & 5 & 3 \\ 6 & 7 & 2 \\ 8 & 4 & 2 \\ 5 & 2 & 2 \\ 9 & 3 & 2 \\ 5 & 2 & 2 \\ 6 & 7 & 2 \\ 7 & 6 & 2 \\ 8 & 9 & 2 \\ 6 & 3 & 2 \\ 9 & 2 & 9 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta_1(1) & \Delta_1(2) & \Delta_1(3) \\ \Delta_2(1) & \Delta_2(2) & \Delta_2(3) \\ \Delta_3(1) & \Delta_3(2) & \Delta_3(3) \\ \Delta_4(1) & \Delta_4(2) & \Delta_4(3) \\ \Delta_5(1) & \Delta_5(2) & \Delta_5(3) \\ \Delta_6(1) & \Delta_6(2) & \Delta_6(3) \\ \Delta_7(1) & \Delta_7(2) & \Delta_7(3) \\ \Delta_8(1) & \Delta_8(2) & \Delta_8(3) \\ \Delta_9(1) & \Delta_9(2) & \Delta_9(3) \\ \Delta_{10}(1) & \Delta_{10}(2) & \Delta_{10}(3) \\ \Delta_{11}(1) & \Delta_{11}(2) & \Delta_{11}(3) \\ \Delta_{12}(1) & \Delta_{12}(2) & \Delta_{12}(3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 & 1 & 4 \\ 3 & 4 & 2 \\ 5 & 6 & 1 \\ 7 & 3 & 1 \\ 4 & 1 & 1 \\ 8 & 2 & 1 \\ 4 & 1 & 1 \\ 5 & 6 & 1 \\ 6 & 5 & 1 \\ 7 & 8 & 1 \\ 5 & 2 & 1 \\ 8 & 1 & 8 \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

Fark matrisi değerlerine göre $\Delta_{\min}=1$, $\Delta_{\max}=8$ olarak belirlenmiştir. Belirleyicilik katsayısı (ζ) ise 0,5 olarak kabul edilmiştir. Fark matrisinden alınan değerlerden gri ilişki katsayıları hesaplanır. $\Delta_1(1)$ değeri için gri ilişki katsayısı aşağıdaki formülde hesaplanışı gösterilmiştir. Bu işlem fark matrisindeki her değer için tekrarlanır.

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

$$\gamma(X_0(k), X_i(k)) = \frac{1 + (0,5 \times 8)}{8 + (0,5 \times 8)} = 0,416667 \quad (4.3)$$

Fark matrisinden aşağıdaki gri ilişki matrisi hesaplanılmıştır.

$$\begin{pmatrix} \gamma_1(1) & \gamma_1(2) & \gamma_1(3) \\ \gamma_2(1) & \gamma_2(2) & \gamma_2(3) \\ \gamma_3(1) & \gamma_3(2) & \gamma_3(3) \\ \gamma_4(1) & \gamma_4(2) & \gamma_4(3) \\ \gamma_5(1) & \gamma_5(2) & \gamma_5(3) \\ \gamma_6(1) & \gamma_6(2) & \gamma_6(3) \\ \gamma_7(1) & \gamma_7(2) & \gamma_7(3) \\ \gamma_8(1) & \gamma_8(2) & \gamma_8(3) \\ \gamma_9(1) & \gamma_9(2) & \gamma_9(3) \\ \gamma_{10}(1) & \gamma_{10}(2) & \gamma_{10}(3) \\ \gamma_{11}(1) & \gamma_{11}(2) & \gamma_{11}(3) \\ \gamma_{12}(1) & \gamma_{12}(2) & \gamma_{12}(3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,205556 \\ 0,248016 \\ 0,240741 \\ 0,241558 \\ 0,283333 \\ 0,244444 \\ 0,283333 \\ 0,240741 \\ 0,237037 \\ 0,221717 \\ 0,262963 \\ 0,177778 \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

Bu işlemlerin ardından klasik önem düzeyine göre Gri-RÖS değerlerinin hesaplanması ve kütle çekimsel yöntemin hesaplanması olmak üzere iki hesap türü çözümü yapılacak ve bu yöntemlerin birbirleriyle karşılaştırılması yapılacaktır. Öncelikle klasik Gri-RÖS ağırlıklandırma işlemi ide çözüme devam edilmiştir.

Çizelge 4.3. Klasik Gri-RÖS hesaplaması için ağırlıklandırma örneği (Akpınar, 2015)

	Wö	Wo	Wk
Parasal değer	50 TL	25 TL	50TL
Ağırlık	0.4	0.2	0.4

Burada W_k ; faktörlerin ağırlıklandırma katsayısı ve

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

$$\tau(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(X_0(k), X_i(k)) \cdot W_i(k)$$

$$\tau(X_0, X_i) = \frac{1}{3} \sum ((0, 41667 \times 0, 4) + (1 \times 0, 2) + (0, 625 \times 0, 4)) = 0,20556 \quad (4.5)$$

$$\text{Ağırlandırılmış Gri-RÖS} = \begin{pmatrix} 0,205556 \\ 0,248016 \\ 0,240741 \\ 0,241558 \\ 0,283333 \\ 0,244444 \\ 0,283333 \\ 0,240741 \\ 0,237037 \\ 0,221717 \\ 0,262963 \\ 0,177778 \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

Ağırlıklandırılmış Gri-RÖS değerleri yukarıdaki şekilde bulunmuştur. Aşağıda önerilen yeni yöntem olan kütle çekimsel Gri-HTEA (KÇ-Gri-HTEA) ile çözüme devam edilmiştir. KÇ-Gri-HTEA’da yapılacak ilk işlem hata türlerin birbirleri ile olan ilişkilerini değerlendirmek amacıyla hata türü ilişki matrisi oluşturulur ve hata türleri arasındaki uzaklıklar bu matriste gösterilir. Yapılan bu çözüm için hata türü ilişki matrisi aşağına gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Hata türü ilişki matrisi

	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7	HT8	HT9	HT10	HT11	HT12
HT 1	0	11	2	3	4	1	6	11	8	9	1	11
HT 2	11	0	2	2	11	1	5	6	7	8	2	1
HT 3	2	2	0	1	2	3	4	3	6	7	8	9
HT 4	3	2	1	0	1	11	3	4	5	6	11	2
HT 5	4	11	2	1	0	11	2	3	4	5	6	7
HT 6	1	1	3	11	11	0	1	2	3	4	5	1
HT 7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	3
HT 8	11	6	3	4	3	2	1	0	1	2	3	1
HT 9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	11	1
HT 10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2
HT 11	1	2	8	7	6	5	4	3	11	1	0	1
HT 12	11	1	9	2	7	1	3	1	1	2	1	0

Hata türü ve uzaklık değerlerinin belirlenmesinden sonra önem, oluşma ve keşfedilebilirlik değerleri için kütle çekim matrisleri oluşturulur. Her bir hata türünün Ö, O ve K değerlerinin ağırlıkları birbirleri ile olan uzakları kullanılarak kütle çekim kanunu formülü kullanılır ve birbirleri üzerinde oluşturdukları etki kuvvetleri hesaplanır. Aşağıda sırası ile önem, oluşma ve keşfedilebilirlik değerleri için kütle çekim kuvvetleri formülüne edilmiştir.

Önem değerleri için kütle çekim matrisi

Önem değerlerinin birbirlerine etki uzaklıklarına göre birbirlerine etki değerlerinin hesaplanması;

$$F_{\ddot{O}(HTn,HTm)} = G \times \frac{HT\ddot{O}m \times HT\ddot{O}n}{R^2} \quad (4.7)$$

$$F_{\text{ötop}} = \sum_{F_{\text{ö}}=1}^n (F_{\text{ö1}} + F_{\text{ö2}} + \dots + F_{\text{ön}}) \quad (4.8)$$

Çizelge 4.5. Önem değerleri için kütle çekim matrisi

	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7	HT8	HT9	HT10	HT11	HT12	Toplam
HT 1	0	0,297	13,5	8	2,812	81	1,25	0,446	0,984	0,888	54	0,669	163,849
HT 2	0,297	0	6	8	0,165	36	0,8	0,666	0,571	0,5	6	36	95,000
HT 3	13,5	6	0	48	7,5	6	1,875	4	1,166	0,979	0,562	0,666	90,250
HT 4	8	8	48	0	40	0,595	4,444	3	2,24	1,777	0,396	18	134,454
HT 5	2,812	0,165	7,5	40	0	0,371	6,25	3,333	2,187	1,6	0,833	0,918	65,972
HT 6	81	36	6	0,595	0,371	0	45	13,5	7	4,5	2,16	81	277,126
HT 7	1,25	0,8	1,875	4,444	6,25	45	0	30	8,75	4,444	1,875	5	109,688
HT 8	0,446	0,666	4	3	3,333	13,5	30	0	42	12	4	54	166,946
HT 9	0,984	0,571	1,166	2,24	2,187	7	8,75	42	0	56	0,347	63	184,247
HT 10	0,888	0,5	0,979	1,777	1,6	4,5	4,444	12	56	0	48	18	148,690
HT 11	54	6	0,562	0,979	0,833	2,16	1,875	4	0,347	48	0	54	172,757
HT 12	0,669	36	0,666	18	0,918	81	5	54	63	18	54	0	331,254
Genel toplam													1940,238

G=1 kütle çekim kuvveti yörüngesinde baz alınıp işlemler yapılmaktadır. Kütle çekim kuvveti hesaplanan süreçte, üretilen parça, ürün veya hata türünün birbirlerine etkisine göre yöntemi uygulayan ekip tarafından bu değer seçilebilir. Ardışık işlemlerde bu sabit değer yüksek seçilirken ardışık olmayanlarda düşük seçilebilir.

Oluşma değerleri için kütle çekim matrisi

Oluşma değerlerinin birbirlerine etki uzaklıklarına göre birbirlerine etki değerlerinin hesaplanması

$$F_{O(HTn,HTm)} = G \times \frac{HTom \times HTon}{R^2} \quad (4.9)$$

$$F_{\text{otop}} = \sum_{F_{\text{o}}=1}^n (F_{\text{o1}} + F_{\text{o2}} + \dots + F_{\text{on}}) \quad (4.10)$$

Keşfedilebilirlik değerleri için kütle çekim matrisi

Keşfedilebilirlik değerlerinin birbirlerine etki uzaklıklarına göre birbirlerine etki değerlerinin hesaplanması

$$F_{K(HTn,HTm)} = G \times \frac{HTkm \times HTkn}{R^2} \quad (4.11)$$

$$F_{ktop} = \sum_{F_k=1}^n (F_{k1} + F_{k2} + \dots + F_{kn}) \quad (4.12)$$

Çizelge 4.6. Oluşma değerleri için kütle çekim matrisi

	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7	HT8	HT9	HT10	HT11	HT12	Toplam
HT 1	0	0,082	3,5	0,888	0,25	6	0,111	0,115	0,187	0,222	6	0,033	17,391
HT 2	0,082	0	8,75	5	0,082	15	0,4	0,972	0,612	0,703	3,75	10	45,352
HT 3	3,5	8,75	0	28	3,5	2,333	0,875	5,444	1,166	1,285	0,328	0,172	55,356
HT 4	0,888	5	28	0	8	0,099	0,888	1,75	0,96	1	0,099	2	48,686
HT 5	0,25	0,082	3,5	8	0	0,049	1	1,555	0,75	0,72	0,166	0,081	16,156
HT 6	6	15	2,333	0,099	0,049	0	6	5,25	2	1,687	0,36	6	44,779
HT 7	0,111	0,4	0,875	0,888	1	6	0	14	3	2	0,375	0,444	29,094
HT 8	0,115	0,972	5,444	1,75	1,555	5,25	14	0	42	15,75	2,333	14	103,171
HT 9	0,187	0,612	1,166	0,96	0,75	2	3	42	0	54	0,148	12	116,825
HT 10	0,222	0,703	1,285	1	0,72	1,687	2	15,75	54	0	27	4,5	108,868
HT 11	6	3,75	0,328	0,244	0,166	0,36	0,375	2,333	0,148	27	0	6	46,706
HT 12	0,033	10	0,172	2	0,081	6	0,444	14	12	4,5	6	0	55,231
Genel toplam													687,62

Çizelge 4.7. Keşfedilebilirlik değerleri için kütle çekim matrisi

	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7	HT8	HT9	HT10	HT11	HT12	Toplam
HT 1	0	0,123	2,5	1,111	0,625	10	0,277	0,082	0,156	0,123	10	0,371	25,372
HT 2	0,123	0	1,5	1,5	0,049	6	0,24	0,166	0,122	0,093	1,5	27	38,296
HT 3	2,5	1,5	0	4	1	0,444	0,25	0,444	0,1111	0,081	0,062	0,222	10,616
HT 4	1,111	1,5	4	0	4	0,033	0,444	0,25	0,16	0,111	0,033	4,5	16,142
HT 5	0,625	0,049	1	4	0	0,033	1	0,444	0,25	0,16	0,111	0,367	8,040
HT 6	10	6	0,444	0,033	0,033	0	4	1	0,444	0,25	0,16	18	40,365
HT 7	0,277	0,24	0,25	0,444	1	4	0	4	1	0,444	0,25	2	13,906
HT 8	0,082	0,166	0,444	0,25	0,444	1	4	0	4	1	0,444	18	29,832
HT 9	0,156	0,122	0,111	0,16	0,25	0,444	1	4	0	4	0,033	18	28,277
HT 10	0,123	0,093	0,081	0,111	0,16	0,25	0,444	1	4	0	4	4,5	14,764
HT 11	10	1,5	0,0625	0,081	0,111	0,16	0,25	0,444	0,033	4	0	18	34,642
HT 12	0,371	27	0,222	4,5	0,367	18	2	18	18	4,5	18	0	110,96
Genel Toplam													371,21

Risk faktörlerinin önem düzeyini ağırlıklandırmaları istendiğinde ise, problemlerin Ö, K ve O değerleri oluşturdukları kütle çekim kuvvetlerine göre izafi olarak ağırlıklandırılacaktır. İzafi ağırlıklar aşağıdaki formüllerle bulunmaktadır.

$$F_{top} = F_{otop} + F_{ötop} + F_{ktop} \quad (4.13)$$

$$W_{\ddot{O}} = \frac{F_{\ddot{O}top}}{F_{top}} \quad W_O = \frac{F_{Otop}}{F_{top}} \quad W_K = \frac{F_{Ktop}}{F_{top}} \quad (4.14)$$

Ayrıca izafi ağırlıklar toplamı 1'e eşittir.

$$W_K + W_{\ddot{O}} + W_O = 1$$

$$\sum_{k=1}^n W_k = 1 \quad (4.15)$$

$$\tau(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(X_0(k), X_i(k)) \cdot W_i(k)$$

$$\begin{aligned} & \sum ((0,41667 \times 0,646945) + (1 \times 0,229277) + (0,625 \times 0,123778)) \\ & = 0,192066 \end{aligned} \quad (4.16)$$

4.2. Gri-HTEA İle Elde Edilen Sonuçlar

Gri İlişki Analizi Tabanlı-HTEA (Gri-HTEA), Klasik-HTEA 'da farklı risk değerlerinin aynı önceliği alması risk faktörlerinin ağırlıklarının dikkate alınmaması gibi nedenlerden dolayı kullanılmaya başlanmıştır. Yazınlarda uygulanmış örnekler incelendiğinde risk öncelik sayılarının sıralamalarında ve önceliklendirme işlemlerinde Klasik-HTEA 'ya göre, önemli süreçlerin iyileştirilmesi bakımından önemli faydalar sağladığı ortaya konulmuştur. Ayrıca

Klasik-HTEA 'nın aksine eşit ağırlık varsayımına karşın Oluşma, Keşfedilebilirlik ve Önem değerleri Gri-HTEA ile farklı değerlerde ağırlıklandırılabilmesi işletmelerin kısıtlı kaynaklarının doğru kullanımı açısından, önem düzeyi yüksek hata türlerinin düzeltilebilmesine olanak sağlamıştır. Ancak çalışmalarda yapılan ağırlıklandırma işlemlerin hata türlerinin önceliklendirilmesinde yanlışlıklar barındırdığı önerilen yeni yöntemle ortaya konulmuştur. Bu yöntemlerde ağırlıklandırmalar temelde öznel yargılara ve çalışmayı yapan uzmanların bilgi becerisine ya da maliyetsel dağılımlara göre yapılmaktadır. Bu durum risk öncelik sırasının belirlenmesinde sakıncalıdır. Hata türlerinin birbirleri üzerinde oluşturacağı birikimli etkileri göz ardı etmektedir. Bu eksiklikleri gidermek amacıyla yeni yöntem önerilmiştir.

Aşağıdaki tabolada Gri-HTEA ile elde edilen değerler uygulama örneği başlığının (Başlık 4.1) ilk 7 işleminden elde edilmiştir ve önceliklendirme sıralaması gösterilmiştir. Ayrıca öncelik sıralamasında, sıralama değeri değişmeyen hata türleri daha kalın rakamlar ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Gri-RÖS değerleri ve sıralaması

	Gri-RÖS	Öncelik	Klasik RÖS	Öncelik
	Puanı	Sırası	Puanı	Sırası
HT 1	0,20556	2	90	3
HT 2	0,24802	8	60	7
HT 3	0,24074	5	84	5
HT 4	0,24156	6	64	6
HT 5	0,28333	10	20	10
HT 6	0,24444	7	54	8
HT 7	0,28333	10	20	10
HT 8	0,24074	5	84	4
HT 9	0,23704	4	84	4
HT 10	0,22172	3	144	2
HT 11	0,26296	9	36	9
HT 12	0,17778	1	162	1

4.3. KÇ-Gri-HTEA İle Elde Edilen Sonuçlar

Önerilen yeni yöntem ile elde edilen veriler çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Sırası ile Ö, O ve K değerleri için karar faktör değerleri birikimli kütle çekim kuvvetleri toplamı bu toplamardan elde edilmiş. Kuvvetsel oranlar bu oranlarla hesaplanmış her bir hata türü için gri ilişki katsayıları verilmektedir.

Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar önem sıralamasında tutarlı bir biçimde değişiklikler meydana getirmiştir. Sıralamada, işletme içinde müşteriye ulaşmadan çözülebilecek problemleri geriye atarken müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyecek hatalar öne çıkarmıştır.

Çizelge 4.9. KÇ-Gri-HTEA ile elde edilen sonuçlar

				Ö	O	K	Toplam		
İzafi Ağırlıklar				1940,24	687,6201	371,2185	2999,08		
				0,64695	0,22928	0,12378	1		
Hata türü								KÇ-Gri-RÖS Puanı	Öncelik Sırası
	Ö	O	K						
HT 1	8	1	4	0,41667	1,00000	0,62500	0,19207		4
HT 2	3	4	2	0,71429	0,62500	0,83333	0,23618		9
HT 3	5	6	1	0,55556	0,50000	1,00000	0,19928		7
HT 4	7	3	1	0,45455	0,71429	1,00000	0,19387		5
HT 5	4	1	1	0,62500	1,00000	1,00000	0,25247		10
HT 6	8	2	1	0,41667	0,83333	1,00000	0,19480		6
HT 7	4	1	1	0,62500	1,00000	1,00000	0,25247		10
HT 8	5	6	1	0,55556	0,50000	1,00000	0,19928		7
HT 9	6	5	1	0,50000	0,55556	1,00000	0,19154		3
HT 10	7	8	1	0,45455	0,41667	1,00000	0,17113		1
HT 11	5	2	1	0,55556	0,83333	1,00000	0,22475		8
HT 12	8	1	8	0,41667	1,00000	0,416667	0,18347		2

4.4. Sonuçların Karşılaştırılması

Üç farklı yöntem ile elde edilen yöntemlerin Ö, O, K, RÖS, Gri-RÖS ve Kütle Çekimsel-RÖS değerleri ve sıralamaları çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Sonuçlar çizelge üzerinden karşılaştırılmıştır. Kalın punto ile yazılan rakamlar her üç yöntem için sıralamanın değişmediğini, altı çizili yazılan rakamlar ise klasik yöntemde ve Gri ilişki tabanlı yöntem için sıralamanın değişmediğini, eğik olarak yazılan rakamların da önem sıralamasında aynı önem düzeyini aldığı görülmektedir.

Çizelge 4.10. Önem düzeyi sıralamalarının karşılaştırması

	Ö	O	K	Klasik RÖS	Sıra	Gri-RÖS	Sıra	KÇ-Gri-RÖS	Sıra
HT 1	9	2	5	90	3	0,20556	2	0,19207	4
HT 2	4	5	3	60	7	0,24802	8	0,23618	9
HT 3	6	7	2	84	<u>5</u>	0,24074	<u>5</u>	0,19928	7
HT 4	8	4	2	64	<u>6</u>	0,24156	<u>6</u>	0,19387	5
HT 5	5	2	2	20	10	0,28333	10	0,25247	10
HT 6	9	3	2	54	8	0,24444	7	0,19480	6
HT 7	5	2	2	20	10	0,28333	10	0,25247	10
HT 8	6	7	2	84	4	0,24074	5	0,19928	7
HT 9	7	6	2	84	<u>4</u>	0,23704	<u>4</u>	0,19154	3
HT10	8	9	2	144	2	0,22172	3	0,17113	1
HT 11	6	3	2	36	<u>9</u>	0,26296	<u>9</u>	0,22475	8
HT 12	9	2	9	162	<u>1</u>	0,17778	<u>1</u>	0,18347	2

Her üç yöntemde de HT 5 ve HT 7 en son önem düzeyine sahip hata olarak sıralanmıştır. Müşteri memnuniyeti olan HT 12 Klasik-HTEA ve Gri-HTEA da önem düzeyi en yüksek olan ilk sırayı alırken KÇ-HTEA'da ikinci sıraya gerilemiştir. İlk iki yöntemde HT 9 4 sırayı alırken yeni önerilen yöntemde 3, HT 4 6. sırada iken 4 ve HT 3 5. Sırada iken 7. Önem düzeyi sırasına gelmiştir. Sıralama çoğunlukla değişmiş olup önem düzeyi düşük hata türlerinde eşit ağırlıklı hatalara rastlanmıştır. Ayrıca işletme içerisinde ürünün müşteriye ulaşmadan düzeltilebilecek yada bir sonraki aşamada işletme personeli tarafından ortaya çıkartılabilecek hatalar (Yanlış ölçü, kaynak, temizlik taşılama ve unutulmuş müşteri istekleri gibi hatalar) sıralamada geriye atılırken, kapının üretimden çıkıp müşteriye teslim ve montaj aşamasındaki aldığı çizik darbe ve

boya kalıntıları müşteri memnuniyetini direkt etkilediğinden ilk sırada yer almıştır.

Ayrıca önerilen yeni yöntem, Klasik-HTEA ve Gri ilişkisel-HTEA'nın aksine müşteri memnuniyetini ilk sıraya almak yerine önemsiz gibi görünen ancak müşteri memnuniyetini etkileyen en önemli etmenlerden olan taşıma hatalarını ilk sıraya yerleştirmiştir. HTEA ekibi olarak hata türlerinin birbirleri arasında oluşturduğu etki net olarak bu işlemde görülmüştür. Bu sonuç hakkında yorum yapılırsa, diğer hata türlerinde ortaya çıkan aksaklıklar işletme içerisinde düzeltilme fırsatı varken, taşıma ve montaj işlemi son iki işlemdir ve bu süreçte yapılacak hataların düzeltilme şansı ya hiç yoktur yada çok azdır. Montaj işlemi, iyi eğitilmiş personel tarafından yapıldığı için ve kapıya verilecek en az zarar ile montaj tasarlandığı için düşüktür. Ancak taşıma işleminde özellikle vitrifiye kısımlarda meydana gelecek ezik, kırık ve çizikler müşteri dikkani çok çabuk çeker. Bu işlemde meydana gelecek hatalar bir sonraki işlem olan müşteri memnuniyetinde direkt etkilidir ve bu etki birikimli olarak gelmiştir kanısına varılmıştır.

Ayrıca yöntem işletme içerisinde ortaya çıkacak ve/veya bir sonraki işlemde olacak hatalar ise önceliklendirme sıralamasında daha düşük öncelik vermiştir. Buda bir sonraki işletme içerisindeki süreç aşamasında ortaya çıkacak ve çalışanlar tarafından otomatik olarak düzeltilmek olan hataların önceliklendirmede geriye atılarak HTEA ekibinin zaman kaybı yaşamadan işletme için önemli olan hata türlerine yönelmeleri sağlanır. Örneğin yanlış sipariş diğer iki karşılaştırma yönteminde 5. Sırada iken yeni önerilen yöntemde 7. Sıraya gerilemiştir. Yanlış siparişler üretim hattı boyunca kendiliğinden ortaya çıkacak ve çalışanlar tarafından kendiliğinden HTEA ekibine gerek duyulmadan düzeltme işlemi yapılacaktır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Kütle Çekimsel Gri-HTEA (KÇ-Gri-HTEA) yöntemi ilk kez ortaya atılmış ve metal sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede uygulaması yapılmıştır. Gri-HTEA'nın Ö, O ve K değerleri ağırlıklandırma işlemlerinde uygulanan sezgisel ya da ücrete dayandırılmış ağırlıklandırma yöntemi yerine hata türlerinin birleşik etkilerini de içerdği düşünülen kütle çekim kuvveti esaslı yeni bir yöntem ortaya konulmuştur.

Klasik-HTEA ve Gri-HTEA yöntemlerinde öznel değerler ve uygulayıcıların bilgi birikimine göre sonuçlar aynı sistem için farklılık gösterebilmektedir. Bu durum işletme faaliyetlerinin kararlı bir şekilde sürdürülebilmesi açısından sakıncalar içermektedir. Ayrıca, uygulama yapılan süreçlerde hata türleri arasındaki ilişkiler, ardışık işlemler ve neden-sonuç ilişkileri göz ardı edilmektedir. Bir puan, bir işlem ve/veya bir hata türü için belirlenirken sadece aynı birim için düşünülmekte ve puanlama yapılarak RÖS değerleri oluşturulmaktadır. Ancak önemsiz hataların birikimli olarak toplanıp, bir işlemde ya da hata türünde ortaya çıkması o işlemde en yüksek önem seviyesinin belirlenmesine olanak sağlayabileceği ve uygulayıcı birimin hataları yanlış işlemlerde aramalarına sebep olabileceği durumları dikkate alınmamaktadır.

Yani bir hata türünün diğer hata türüne olan etkisi bilinen yöntemlerde önceliklendirme sıralaması hesaplamasında önemsenmemektedir. Bu durum ağırlıklandırma işlemi esnasında önerilen yöntem algoritmasının kullanılması ile sağlanmıştır. Ağırlıklandırma işlemi, diğer yöntemlerde maliyet üzerinden ya da yöntemi uygulayan uygulayıcıların belirlediği oranlar üzerinden belirlenmektedir. Sonuçta, ağırlıklandırma süreci önceliklendirme sıralamasını doğrudan etkileyen kritik bir unsurdur.

İşletmeler açısından hataların birbirlerini etkilemesi durumunun araştırılmasının son derece önemli olduğu söylenebilir. Bu aynı zamanda

işletmelerde zaman, kalite, emek, para ve mşşteri kaybına neden olacak endşstriyel bir problem olarak ele alınmalıdır. şnerilen yeni yşntem ile bu dezavantajlar ortadan kaldırılmaya şalışılmıştır. Yeni yşntem birikimli olarak hata tşrleri arasındaki ilişkileri ve birbirlerine olan etkileri belirlemiştir. Bu sayede ortaya daha nesnel bir risk şnceliklendirme sırası çıkarmaktadır. Bşylece, tez şalışması ile, araştırmacılara, endşstri uygulayıcılarına ve bilimsel yazına katkı/lar sağlandığı dşşşnşlmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdelgewad, M., Abdelrahman, M., 2011. Hybrid Decision Support System For Risk Criticality Assessment And Risk Analysis. PhD Thesis, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Akın, B., 1998. ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi (1. Basım), Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- Akpınar, B., 2015. Hata Türü Ve Etkileri Analizi Yöntemine Gri Teori Yaklaşımının Uygulanması. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 88 s., Kocaeli.
- Atmaca, E., Keskin, H., 2005. Bursa İli Otomotiv Sektöründe TS 16949 Kalite Yönetim Sistemi'nin Rekabetçi Avantajları. V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu 25-27 Kasım, ss. 209-214, İstanbul
- Aydemir, E., Bedir, F., Özdemir, G., 2013. Gri Sistem Teorisi Ve Uygulamaları: Bilimsel Yazın Taraması. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Y.2013, C.18, S.3, s.187-200.
- Aytaç, E., 2011. Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Hata Türü Ve Etkileri Analizi Ve Uygulama Örneği. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme ABD Doktora Tezi, 293 s., Aydın.
- Baysal, M. E., Canıyılmaz, E., Eren, T., 2002. Otomotiv Yan Sanayiinde Hata Türü ve Etkileri Analizi. TEKNOLOJİ, 5(1-2), 83-90.
- Bektaş, D., 2007. Hata Türü Etkileri Analizi ve Film Kaplı Tablet Üretiminde Uygulanması. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 101 s., İstanbul.
- Ben-Daya, M., Raouf A., 1996. A Revised Failure Mode and Effects Analysis Model. International Journal of Quality & Reliability Management, 13(1):43-47.
- Bilgin, Ö., 2006. Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Uygulaması. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 87 s., Kocaeli.
- Boran, S., 1996. Hata Şekli ve Etkileri Analizi'nin Bulanık Küme Yaklaşımıyla Çözümlemesi Olanağı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 148 s., İstanbul.
- Bowles, J.B., 1998. The New SAE FMECA Standard. Annual Reliability and Maintainability Symposium, 19-22 January, ss. 48-53, Anaheim, California, USA, s. 48.
- Canbolat, R., 2008. Hata türü ve Etkileri Analizinde Analitik Ağ süreci ve Bulanık Mantık Uygulaması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 118 s., Sakarya.
- Carbone, A.C., Tippet, D.D., 2004. Project Risk Management Using The Project Risk FMEA. Engineering Management Journal, 16(4), 28-35.
- Chang, C. L, Liu, P. H., Wei, C. C., 2001. Failure Mode and Effect Analysis Using Grey Theory, Integrated Manufacturing Systems, 12(3), 211-216.

- Chang, C. L, Wei, C. C., Lee, Y. H. 1999. Failure Mode and Effect Analysis Using Fuzzy Method and Grey Theory, *Kybernetes*, 28(9), 1072-1080.
- Chang, C. L., Tsai C. H., Chen, L., 2003. Applying Grey Relational Analysis to the Decathlon Evaluation Model. *International Journal of the Computer, The Internet and Management*, 11(3), 54-62.
- Chang, D. S., Sun, K. L. P., 2009. Applying DEA to Enhance Assesment Capability of FMEA. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26(6), 629-643.
- Chen, C.L., Chen, S.P., 2008. Forecasting of foreign exchange rate of Taiwan's major trading partners by novel nonlinear grey Bernoulli NGBM(1,1). *Communications Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 13(6), (208), 659-665.
- Chih-Hung, T., Ching-Liang, C. L. C., 2003. Applying Grey Relational Analysis to the Vendor Evaluation Model. *International Journal of the Computer, The Internet and Management*, 11(3), 45-53.
- Chiou, H.-K., Tzeng, G.-H., Cheng, C.-K., Liu, G.-S. 2004. Grey Prediction Model for Forecasting the Plannin Material of Equipment Spare Parts in Navy of Taiwan. *Automation Congress*, 17, 315-320.
- Chiozza, L.M., Ponzetti, C., 2009. FMEA: A Model for Reducing Medical Errors. *Clinica Chimica Acta*, 404 (1), 75-78.
- Cohen, I. B. 1999. *A Guide to Newton's Principia*, University of California Press. ISBN 0-520-08816-6 ISBN 0-520-08817-4
- Dai, W.Z.A, 1997. Method of building n-addition Grey model with correction of residual error. *Systems Engineering- Theory & Practice*, 12, sayfa
- Davie, J. L., 2008. *An Analysis of Risk Perception and the RPN Index within Failure Modes and Effects Analysis*. Yüksek Lisans Tezi, University at Buffalo, The State University of New York, 131 s., Buffalo.
- Dean, A. W., 2003. *A Statistical Evaluation Of Risk Priority Numbers In Failure Modes And Effects Analysis Applied To The Prediction Of Complex Systems*, PhD Thesis, Old Dominion University, 175 s., USA.
- Deng, J.-L., 1982. Control Problems of Grey Systems, *Systems and Control Letters*, 1, 288-294.
- Deng, J.-L., 1989. Introduction to grey system theory. *Journal of Grey Systems*, 1, 1-24.
- Eleren, A., 2007. Eğitim Başarısının Artırılmasında Süreç Geliştirme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi*, 9 (2), 1-25.
- Eryürek, Ö. F., Tanyaş, M. 2003. Hata türü ve etkileri analizi yönteminde aliyet odaklı yeni bir karar verme yaklaşımı. *İTÜ İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölüm Dergisi*, 31-40.
- Gao., S., 2003. Implementation and application of the algorithm for the modified model GM(1,1) based on the variation trend of residuals. *Journal of Wuhan Automotive Polytechnic University* 2003-6.

- Geum, Y., Cho, Y., Park, Y., 2011. A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 3126–3142.
- Girginer, N., Köse, T., Uçkun, N., 2014. Veri Zarflama Analizi ve Gri İlişki Analizinin Birlikte Kullanımıyla Cerrahi Servislerin Etkinliklerinin Analizi, *International Conference in Economics*, Prag, Çek Cumhuriyeti, 03-05 Eylül.
- Hajiagha, R. H. S., Hashemi, S. S., Mohammadi, Y., Zavadskas, K., 2016. Fuzzy Belief Structure Based Vikor Method: An Application For Ranking Delay Causes Of Tehran Metro System By FMEA Criteria. *Transport*, 31(1), 108-118.
- Hoseynabadi, A.H., Oraee, H., Tavner, P.J. 2010. Failure Modes And Effects Analysis (FMEA) For Wind Turbines. *International journal of electrical power and energy systems*, 32(7), 817-824.
- Hsu C. W., Wen, K., 2000. Application of Grey Theory and Multiobjective Programming Towards Airline Network Design. *European Journal of Operational Research*, 127(1), 44-68.
- Hsu, C.C., Chen, C.Y., 2003. A modified grey forecasting model for long-term prediction, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 26(23), 301–308.
- Kadioğlu, M., Uçmuş, E., Gönen, D., 2009. Makine imalatı yapan bir işletmede tasarım hata türü ve etkileri analizi ile hata kaynaklarının belirlenmesi ve kalitenin iyileştirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi FBE Dergisi*, 11(1), 42-55.
- Kara-Zaitri, C., Keller, A. Z., Barody, I. Fleming, P. V., 1991. An Improved FMEA Methodology. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 29-31 January, 248-252, Orlando, Florida, USA.
- Kuang, Y.H., Chuen, J.J., 2009. A hybrid model for stock market forecasting and port folio selection based on ARX, grey system and R Stheories. *Expert Systems with Applications*, 36, 5387–5392.
- Kuo, Y., Yang, T., Huang, G.W., 2008. The Use of Grey Relational Analysis in Solving Multiple Attribute Decision-Making Problems. *Computers and Industrial Engineering*, 55, 80- 93.
- Kurt, G., 2008. Gri İlişki Çözümlemesi ve Ridit Çözümlemesi Kullanılarak Üniversite Öğrencilerinin Çeşitli Kaygılarının Değerlendirilmesi. *Akademik Bakış*, 14, 1-10.
- Li, G.D., Daisuke, Y., 2007. N.A.G.M. Masatake (1,1)-Markov chain combined model with an application to predict the number of Chinese international air lined. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(8), 1465–1481.
- Liu S.F., 2004. The G.M. models that $x(n)$ be taken as initial value. *Kybernetes*, 33(2), 247-254.
- Liu S.F., Deng J.L., 1999. The Range Suitable for GM(1,1). *The Journal of Grey System*, 11, 131-138.
- Liu S.F., Lin Y., 2011. *Grey Systems Theory and Applications*, Springer-Verlag Berlin, Germany, 2010.

- Liu, S.F., Lin, Y., 2006. Grey Information, Springer, 503 s., Almanya.
- MIL-STD 1629 A 1984. Procedures for Performing a Failure Mode and Criticality Analysis(revised). Department of Defence, USA
- Musabeyli Erginel, N. 2004. Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği için Bir Model ve Uygulaması, Endüstri Mühendisliği Dergisi, 15(3), 17-26.
- Öndemir, Ö. 2004. Hata Türü ve Etkilerinin Bulanık Kümeler Yardımıyla Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 49, 123 s., İstanbul.
- Özay, S. 1999. Ürün Geliştirmede Toplam Kalite Yönetim Tekniklerinden Hata Türü ve Etkisi Analizinin İncelenmesi ve Bu Tekniğin Bir Otomotiv Firmasındaki Uygulaması. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 107 s., İstanbul.
- Pelaez, C. E., Bowles, J. B., 1996. Using Fuzzy Cognitive Maps as a System Model for Failure Modes and Effects Analysis, Information Sciences, 88(1-4), 177-199.
- Rahimi, A. S., Jamshidi, A., Ait-Kadi, D., Ruiz, A., 2013. Using Fuzzy Cost-Based FMEA, GRA And Profitability Theory For Minimizing Failures At A Healthcare Diagnosis Service. Quality and Reliability Engineering International, 31(4), 601-615.
- Rivera, S.S, Leod, J.E.N., 2009. Recommendations Generated About a Discontinuous Distillation Plant of Biofuel. World Congress on Engineering, 1-3 July, London.
- Sankar, N. R., Prabhu, B. S., 2001. Modified Approach for Prioritization of Failures in a System Failure Mode and Effects Analysis. International Journal of Quality and Reliability Management, 18(3), 324-335.
- Sequera, M., YIL, A Conceptual Framework For The Assessment Of The Criticality Of Key Failure Modes In Micro-Electro Mechanical Systems (Mems) Accelerometers, Master Thesis, University Of Alabama, Tuscaloosa, Alabama, USA.
- Sharma, R. K., Kumar, D., Kumar, P., 2005. Systematic Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Using Fuzzy Linguistic Modelling. International Journal of Quality and Reliability Management, 22(9), 986-1004.
- Silva, M. M., Poletto, T., Silva, L.C., Gusmao, H., Costa, A. P. C. S., 2016. A Grey Theory Based Approach To Big Data Risk Management Using FMEA. Mathematical Problems in Engineering, 2016, 1-15.
- Sofyalıoğlu, Ç., 2011. Süreç Hata Modu Etki Analizini Gri Değerlendirme Modeli. Ege Akademik Bakış Dergisi, 11(1), 151-164.
- Stamatis, D.H. 2003. Failure Mode And Effect Analysis: FMEA From Theory to Execution, American Society for Quality Press, 488 s., USA.
- Taş, Y., Koç, K.H., 2009. Hata Türü ve Etkileri Analizinin Mobilya Endüstrisine Yönelik Uygulanması. İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, 2(5), 151-178.
- Tay, K. M., Lim, C. P., 2006. Fuzzy FMEA with a Guided Rules Reduction System for Prioritization of Failures. International Journal of Quality & Reliability Management, 23(8), 1047-1066.

- Teng, S. H., Ho, S. Y., 1996. Failure Mode and Effects Analysis: An Integrated Approach for Product Design and Process Control. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 13(5), 8-26.
- Tien, T. L., 2009. A new grey prediction model FGM(1,1), *Mathematical and Computer Modeling*, 49, 1416-1426.
- Tseng, M.-L. 2009. A causal and Effect Decision Making Model of Service Quality Expectation Using Grey-Fuzzy DEMATEL Approach. *Expert Systems with Applications*, 36, 7738-7748.
- Usuğ, C., 2002. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Üretim ve Hizmet Sektörü Uygulamaları, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 236 s., İstanbul.
- Ünal, M. Ö., Aykaç, B., 2010. Yapı İşlerinde Asansör Kazaları ve Güvenlik Önlemleri", *International Journal of Engineering Research and Development*, 2 (2), 13-19.
- Üstünışık, N. Z. 2007. "Türkiye'deki İller Ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri İlişkisel Analiz Yöntemi Ve Uygulaması", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 149 s., Ankara.
- Wang, Z.X., Dang, Y.G., Liu, S.F., 2007. The optimization of back ground value in GM(1,1) model, *The Journal of Grey System*, 10(2), 69-74.
- Wirth, R., Berthold, B., Kramer, A., Peter, G. 1996. Knowledge Based Support of System Analysis for Failure Mode and Effect Analysis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 9(3), 219-229.
- Wu, C. C, Wu, Y. L., Yang, P.C., 2007. Assessment on the Enterprise's Operational Performance Using Multiple Attribute Decision Making. *Proceedings of the 2007 IEEE IEEM*, 242-247.
- Wu, H. 2002. .A Comparative Study of Using Grey Relational Analysis in Multiple Attribute Decision Making Problems. *Quality Engineering*, 15(2):209-217.
- Xie, N.M., Liu, S.F., 2009. Discrete grey forecasting model and its optimization, *Applied Mathematical Modeling*. Cilt sayfa
- Yakıt, O. 2010. Süreç İyileştirmede Hata Türü Etkileri Analizi ve Bir Uygulama, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 154 s., Sakarya.
- Yakıt, O. 2011. Hata Türü Etkileri Analizinde Kullanılan Risk Öncelik Sayısı Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması Gamateks Tekstil San ve Tic Aş Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 3(5), 107-123.
- Yılmaz, B. S., 2000. Hata Türü ve Etki Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(4), 133-150.
- Yunusoğlu, S.H., Yılmaz, M. G., Balaman, Ş., 2016. A Dynamic Maintenance Planning Framework Based on Fuzzy TOPSİS And FMEA: Aplicatonin an International Food Company. *Quality and Reliability Engineering International*, 32(3), 795-804.

- Zammori, F., Gabbrielli R., 2012. ANP/RPN: A Multi Criteria Evaluation of the Risk Priority Number, *Quality and Reliability Engineering International*, 28(1), 85-104.
- Zeng, B., Liu S.F., ve Xie N.M., 2010. Prediction model of interval grey number based on DGM(1,1), *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 21(4), 598-604.
- Zhang, Q.S., 2007. Improving the precision of GM(1,1) model by using particles swarm optimization. *Chinese Journal of Management Science*, 5126-5129.



Ekler
Ek A.1

KAPI ÜRETİM HATTI FMEA ANALİZ FORMU														
No:..... Ürün:Çelik Kapı			Tasarım Yükümlülüğü:Mehmet Yaşbayır			Hazırlayan :			Form Rev					
No:..... Ekip Üyeleri:S Kuru, S Baş , M Kaplan.			Planlanan Tamamlanma Tarihi.....			FMEA Gerçekleşme Tarihi.....			Sayfa: 1					
No	Olası Hatalar	Hataların Olası Etkileri	Önem	Hatanın Olası Nedenleri	Oluşma	Mevcut Kontroller	Keşfedilebilirlik	RPN	Önerilen Düzeltici Önlemler	Sorumlular ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Düzeltici Faaliyet Sonuçları			
											Düzeltici Önlem Sonucu	Öne	Oluşma	Keşfedilebilirlik
HT 1	Yanlış ölçü	Kapı montajı yapılamaz	9	Ölçü alan kişinin dikkatsizliği ya da süreç içi dikkatsizlik	2	Ölçü alınması ve tasarımı ve ürün fişinin oluşturulması sırasında kontrol	5	90						
HT 2	Unutulan müşteri istekleri	Sistem problemli çalışır	4	Müşteri ile temasın iyi kurulamaması iletişimsizlik	5	Müşteri istek fişi kontrolü	3	60						
HT 3	Yanlış sipariş	İmalat için gerekli parçalar eksik kalır imalat tamamlanamaz	6	Tedarik zincirinde ki aksaklıklar	7	İmalat esnasında kontrol ediliyor.	2	81						

KAPI ÜRETİM HATTI FMEA ANALİZ FORMU														
Ürün:Çelik Kapı Üyeleri:S Kuru, S Baş , M Kaplan.			Tasarım Yükümlülüğü:Mehmet Yaşbayır Planlanan Tamamlanma Tarihi.....			Hazırlayan : FMEA Gerçekleşme Tarihi.....			Form No:..... Rev No:..... Ekip Sayfa: 2					
No	Olası Hatalar	Hataların Olası Etkileri	Önem	Hatanın Olası Nedenleri	Oluşma	Mevcut Kontroller	Keşfedilebilirlik	RPN	Önerilen Düzeltici Önlemler	Sorumlular ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Düzeltici Faaliyet Sonuçları			
											Düzeltici Önlem Sonucu	Önem	Oluşma	Keşfedilebilirlik
HT 4	Kesim hataları	Kapı boyut ve boşluklar değişir kapı verimli çalışmaz	8	Kesim sırasında gerekli açılma verimliliğinin sağlanmaması ve mastar kullanılmaması	4	Kapı montajı esnasında %100 kontrol yapılıyor.	2	32						
HT 5	Kaynak hataları	Sistem problemleri çalışır ve arıza verir.	5	Kaynak operatörü yetersiz kaynak türü seçimi yanlış olması.	2	Kaynak yapımı esnasında gözle kontrol ve %100 fonksiyonel test yapılıyor	2	10						
HT 6	Konstrüksiyon hataları	kapı düzenli çalışmaz ve ömrü kısalmaz.	9	-Kaynak yönteminin yanlış seçilmesi -Malzeme seçimi hatalı olabilir -Mastarlara uyulmaması	3	-montaj esnasında fonksiyonel test ve %100 kontrol yapılıyor	2	27						

KAPI ÜRETİM HATTI FMEA ANALİZ FORMU															
Ürün:Çelik Kapı Üyeleri:S Kuru, S Baş , M Kaplan.			Tasarım Yükümlülüğü:Mehmet Yaşbayır Planlanan Tamamlanma Tarihi:.....			Hazırlayan : FMEA Gerçekleşme Tarihi:.....			Form No:..... Rev No:..... Ekip Sayfa: 3						
No	Olası Hatalar	Hataların Olası Etkileri	Önem	Hatanın Olası Nedenleri	Oluşma	Mevcut Kontroller	Keşfedilebilirlik	RPN	Önerilen Düzeltici Önlemler	Sorumlular ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Düzeltilici Faaliyet Sonuçları				
											Düzeltilici Önlem Sonucu	Önem	Oluşma	Keşfedilebilirlik	RPN
HT 7	Temizlik ve Taşlama hataları	Boya kalitesinde hatalara yol açar. Kötü görünüme neden	5	Çalışanın temizliği göz ardı etmesi ve taşlama hataları	2	Astipas boya atımı öncesi %100 kontrol edilir	2	10							
HT 8	Antipas hataları	Antipas hataları boya kalitesini düşürür.ürün ömrü	6	Antipas kalitesi kötü yada yoğunluğunun uygun olmaması	7	Boya hazırlık işlemi esnasında gözle kontrol	2	84							
HT 9	Boya hataları	Düşük boya kalitesi boyada akma ve gözenek oluşumu	7	-Boya kalitesinin düşük olması Boya yoğunluğunun uygun olmaması	6	-Boya işleminde gözle kontrol	2	84							

KAPI ÜRETİM HATTI FMEA ANALİZ FORMU															
Ürün:Çelik Kapı Üyeleri:S Kuru, S Baş , M Kaplan.				Tasarım Yükümlülüğü:Mehmet Yaşbayır Planlanan Tamamlanma Tarihi:.....				Hazırlayan : FMEA Gerçekleşme Tarihi:.....			Form No:..... Rev No:..... Ekip Sayfa: 4				
No	Olası Hatalar	Hataların Olası Etkileri	Önem	Hatanın Olası Nedenleri	Oluşma	Mevcut Kontroller	Keşfedilebilirlik	RPN	Önerilen Düzeltici Önlemler	Sorumlular ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Düzeltici Faaliyet Sonuçları				
											Düzeltici Önlem Sonucu	Önem	Oluşma	Keşfedilebilirlik	RPN
HT 10	Taşıma hataları	Ürünün darbe alması ve çizikler	8	Taşıma işlemindeki özensizlik ve ürünün streçlenmemesi	9	Taşıma işlemi zamanında gözle kontrol	2	72							
HT 11	Montaj hataları	Sistem problemleri çalışır	6	Terazisiz ve çarpık montaj	3	Ürün teslimi sırasında %100 kontrol ve fonksiyonel test yapılması.	2	18							
HT 12	Müşteri memnuniyetini sağlayamama	Müşteri kaybı ve ürün ücreti ödemesinde aksatılıklar	9	Çalışanların kaba davranışları ve müşteri isteklerinin göz ardı edilmesi.	2	Üretim süreci boyunca iletişim içinde olmak ve iş tesliminde müşteri onayı almak	9	162							

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet YAŞBAYIR

Doğum Yeri ve Yılı : Antalya, 1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : myasbayir@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Antalya Lisesi, 2009

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, 2014

SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, 2014

AÜ, İşletme Fakültesi, İşletme, 2014