



**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ
BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ – BİR İŞLETMEDE UYGULAMA DENEMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Sadık YEREBAKAN

Kütahya – 2019

T.C.
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İşletme Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE GRİ İLİŞKİSEL
ANALİZ BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ – BİR İŞLETMEDE UYGULAMA
DENEMESİ**

Danışman:
Dr. Öğr. Üyesi Esra YILDIRIM SÖYLEMEZ

Hazırlayan:
Sadık YEREBAKAN

Kütahya – 2019

Kabul ve Onay

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından

İşletme Anabilim/Anasanat Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ ÇALIŞMA RAPORU

olarak kabul edilmiştir.

Başkan

(İmza)

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ATLAS

Üye.....

(İmza)

Dr. Öğr. Üyesi Esra YILDIRIM SÖYLEMEZ

Üye.....

(İmza)

Dr. Öğr. Üyesi Metin BAŞ

Onay

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

İmza

Doç. Dr. Ayhan KAHRAMAN

Enstitü Müdürü

Bilimsel Etik Bildirimi

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım “Hata Türü ve Etkileri Analizi’nin Gri İlişkisel Analiz ve Uyum Analizi ile Bütünleştirilmesi – Bir İşletmenin Üretim Sürecinde Uygulanması” adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

...../...../2019

İmza

SadıkYEREBAKAN

ÖZET**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE GRİ İLİŞKİSEL
ANALİZ BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ – BİR İŞLETMEDE UYGULAMA
DENEMESİ****YEREBAKAN, Sadık****Yüksek Lisans Tezi, İşletme Ana Bilim Dalı****Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Esra YILDIRIM SÖYLEMEZ****Haziran, 2019, 88 sayfa**

Dünya üzerinde sürekli olarak nüfusun artması ile doğru orantılı olarak tarımsal üretim de artmaktadır. Ancak tarımsal üretim var olan talebi karşılayamamaktadır. Bundan dolayı işletmelerin, tarımsal ürünlerden alınan verimi arttırmak ve sürekli büyüyen pazardan daha fazla pay almak istemeleri, rekabeti arttırmakta ve gübre üretimini daha da önemli hale getirmektedir. Bu doğrultuda tezde, Türkiye’de gübre üretimi yapan bir işletmenin üretim sürecinde karşılaştığı hata türlerinin, Hata Türü ve Etkileri Analizi yardımıyla önceliklendirilmesi ve düzeltici tavsiyelerin verilmesi amacıyla yola çıkılmıştır. Hata Türü ve Etkileri Analizinin uygulaması sonucunda, hata riskleri birbirinden çok farklı olmasına rağmen aynı Risk Öncelik Sayısı değerleri elde edilebilmektedir. Bu durum literatürde de Hata Türü ve Etkileri Analizi’nin bir eksiliği ve eleştirilen bir özelliği olarak karşımıza çıkmakta ve önceliklendirmenin sağlıklı olmasını engelleyebilmektedir. Bu eksikliği gidermek ve önceliklendirmenin daha sağlıklı olabilmesi için kesin bilginin olmadığı zamanlarda karar vermeye yardımcı olan Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile Hata Türü ve Etkileri Analizi birlikte uygulanmış; bunun, potansiyel hataların daha müşteriye ulaşmadan önlenmesi açısından işletmeye katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Gri İlişkisel Analiz sonucunda, önceliklendirilmiş hata türleri ile hata nedenlerinin ilişki durumları Uyum Analizi ile iki boyutlu bir uzayda oluşturulan grafikler yardımıyla saptanmaya çalışılmış, işletmenin bu hata nedenlerine yoğunlaşması tavsiye edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hata Türü ve Etkileri Analizi, Gri İlişkisel Analiz, Uyum Analizi, Risk Öncelik Sayısı

ABSTRACT**INTEGRATION OF FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS WITH GREY RELATIONAL ANALYSIS -APPLICATION ATTEMPT IN AN ENTERPRISE****YEREBAKAN, Sadık****M. Sc. Thesis, Department of Business Administration****Supervisor: Assist. Prof. Esra YILDIRIM SÖYLEMEZ****June, 2019, 88 pages**

Agricultural production is increasing in parallel with the increase in world population. However, agricultural production cannot meet the existing demand. Therefore, the companies desire to increase the yield from agricultural products and to grow market shares increases the competition and makes fertilizer production even more important. In this direction, the thesis was set out in order to prioritize and provide corrective advice with the help of Failure Modes and Effects Analysis, encountered failure modes in the production process of a fertilizer producing enterprise in Turkey. As a result of the application of the Failure Modes and Effects Analysis, the same Risk Priority Number values can be obtained although the failure risks are very different from each other. This situation is a deficiency and criticized feature of the Failure Modes and Effects Analysis in the literature and may prevent the prioritization from being healthy. In order to overcome this deficiency and prioritization to be healthier, Grey Relational Analysis method, Failure Modes, and Effects Analysis were applied together to help decision making when there is no definite information. This is thought to contribute to the enterprise in terms of preventing potential failures before they reach the customer. As a result of the Grey Relational Analysis, the relationship statuses of the prioritized failure modes, and the causes of failure were tried to be determined by means of the graphs created in a two dimensional space by the Correspondence Analysis and it was recommended that the enterprise concentrate on these causes of failure.

Keywords: Failure Mode and Effects, Grey Relational Analysis, Correspondence Analysis, Risk Priority Number

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı yazarken bana desteğini esirgemeyen aileme, çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarını esirgemeyerek her fırsatta yardımcı olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Esra YILDIRIM SÖYLEMEZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER VE GRAFİKLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR	xii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ, GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ VE
UYUM ANALİZİ**

1.1. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA)	4
1.1.1. HTEA'nın Tanımı	4
1.1.2. HTEA ile İlgili Kavramlar ve Öğeler	6
1.1.3. HTEA'nın Avantaj ve Dezavantajları	12
1.1.4. HTEA'nın Diğer Kalite Teknikleri ile İlişkisi.....	14
1.1.5. HTEA Çeşitleri.....	15
1.1.6. HTEA Adımları	17
1.2. GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ (GİA)	22
1.2.1. Gri Teori ve Gri Belirsizlik	22
1.2.2. GİA, Grilik ve Temel Kavramları	24
1.2.3. GİA'nın Adımları	26
1.3.UYUM ANALİZİ	29
1.3.1. Uyum Analizinin Temel Kavramları ve Aşamaları.....	30

İKİNCİ BÖLÜM

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE GRİ İLİŞKİSEL ANALİZİN
BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ VE LİTERATÜR TARAMASI**

2.1. HTEA İLE GRİ İLİŞKİSEL ANALİZİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ.....	36
2.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	38
2.2.1 Ulusal Çalışmalar	38
2.2.2. Uluslararası Çalışmalar	41

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HTEA VE GİA'IN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ VE GÜBRE ÜRETİMİ YAPAN BİR İŞLETMEDE UYGULAMA

3.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ	45
3.2. ARAŞTIRMANIN VARSAYIM VE KISITLARI	45
3.3. UYGULAMA	46
3.3.1. İşletme Tanıtımı	46
3.3.2. HTEA'nın Uygulanması.....	47
3.3.3. HTEA ve GİA'in Birlikte Uygulanması ve Sonuçları	50
3.3.4. Uyum Analizi ve Sonuçları	59
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
EKLER.....	69
KAYNAKÇA	81
DİZİN	87

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Olasılık Derecelendirme Tablosu.....	9
Tablo 1.2. Şiddet Derecelendirme Tablosu	10
Tablo 1.3. Tespit Edilebilirlik Derecelendirme Tablosu	11
Tablo 1.4. HTEA'nin Avantajları ve Dezavantajları.....	13
Tablo 1.5. RÖS Değerlendirme Tablosu	21
Tablo 1.6. Siyah, Gri ve Beyaz Sistemlerin Karşılaştırılması.....	25
Tablo 1.7. İki Boyutlu Kontenjans Tablosu	30
Tablo 2.1. Ulusal ve Uluslararası Çalışmalar.....	43
Tablo 3.1. Toz NPK 20-10-20 HTEA Önceliklendirme Tablosu.....	47
Tablo 3.2. Sıvı NPK 8-8-8 HTEA Önceliklendirme Tablosu.....	49
Tablo 3.3. HTEA, Eşit ve Farklı Ağırlıklı GİA Karşılaştırması	54
Tablo 3.4. HTEA, Eşit ve Farklı Ağırlıklı GİA Karşılaştırması	58
Tablo 3.5. Bir Ay İçerisinde Gerçekleşen Hata Sayıları.....	60
Tablo 3.6. Bir Ay İçerisinde Gerçekleşen Hata Sayıları.....	62

ŞEKİLLER VE GRAFİKLER LİSTESİ

Şekil 1.1. HTEA Çeşitleri	16
Şekil 1.2. HTEA Süreci	18
Şekil 1.3. Uyum Analizinin Aşamaları.....	34
Şekil 3.1. Hata Türü ve Hata Ana Nedeni İlişkisi.....	61
Şekil 3.2. Hata Türü ve Hata Ana Nedeni İlişkisi.....	63



KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	Analitik Hiyerarşı Prosesi
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşı Prosesi
BKM	Bakım ve Kontrol Yetersizliği
DOE	Design of Experiments
Eğ	Eğitim Yetersizliği
FLYT	Faaliyetin Uygun Yerine Getirilmemesi
FMCA	Failure Mode and Critical Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
GİA	Gri İlişkisel Analiz
İŞÇİ	İşçi Dikkatsizliği
HT	Hata Türü
HTEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi
KFG	Kalite Fonksiyon Göçerimi
KLT	Kalitesiz Hammadde ve Malzeme Kullanımı
MLYT	Maliyet Kaygısı
O	Olasılık
ORT	Üretim Ortamı Yetersizlikleri ve Uyumsuzluğu
RÖS	Risk Öncelik Sayısı
SSTM	Sistem Hatası
Ş	Şiddet
T	Tespit edilebilirlik
TGB	Teknoloji Geliştirme Bölgeleri
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
UA	Uyum Analizi



TEZ METNİ

GİRİŞ

Gelişmekte olan ve rekabetçi piyasa koşullarında, hataları meydana geldikten sonra çözmek müşterileri hoşnutsuz etmektedir. Bundan dolayı potansiyel hatalara yönelik önleyici tedbirler almak önemli hale gelmektedir. Önleyici tedbirler özellikle üretim sürecinde bir hata türünün başka bir hata türünü tetikleyerek hata sayısının ve maliyetlerin artmasını engellemek açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte önleyici tedbirler, müşteriye ulaşmadan hataların belirlenip ortadan kaldırılmasını sağlayarak müşteri memnuniyetinin böylece pazar payının, satışların ve karın arttırılmasına da katkı sağlamaktadır (Sofyalıoğlu ve Öztürk, 2012: 114).

Günümüzün küreselleşen dünyasının artan rekabet ortamında işletmelerin ayakta kalabilmesi, ürün çeşitliliğinin ve kalitesinin sağlanması ve sürekli arttırılmasını gerektirmektedir. Bu durum işletmelerin yeni strateji, teknik ve uygulamalar kullanmasına neden olmaktadır. Bu tekniklerden biri olan Hata Türü Etki Analizi (HTEA), olası hataların analiz edilmesi ve bunların ortaya çıkmadan engellenmesi amacıyla uygulanan kritik bir araçtır. Bu yaklaşımda, “Ne yanlış gidebilir?” ve “Herhangi bir şey yanlış giderse sonuçları ne olur?” gibi soruların cevabını aranmakta; üretim süreçlerinde meydana gelebilecek olası hataları önleyerek, daha üretimin başında kalitesizliğin yok edilmesi hedeflenmektedir (Sankar ve Prabhu, 2001: 324).

Yeni bir ürünün piyasaya çıkmasından önce, tasarım, üretim öncesi planlama, üretim, paketlenme, nakliye ve müşteri sunum aşamalarında birçok sorun ortaya çıkmaktadır. Bu sorunları, ürün müşteriye ulaşmadan olduğu aşamada tespit etmek ve uygun çözüm yolları bulmak işletmeler için büyük önem taşımaktadır. Bazı hataları tespit etmek kolay olabilmekle birlikte bazılarını tespit etmek oldukça zor hatta imkansız olabilmektedir. Bu tür hatalar, ancak süreçlerin yoğun bir şekilde incelenmesi, analiz edilmesi ve çeşitli kalite yönetim tekniklerinin birlikte kullanılması ile ortaya çıkmaktadır. Bu tekniklerden biri olan Hata Türü ve Etkileri analizi, günümüz endüstrisinin çeşitli alanlarında hata ve hata türlerini önlemek ve ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. Literatürde bu konu hakkında birçok araştırma bulunmaktadır. Endüstrinin zaman içerisinde sürekli olarak gelişmesi ile, bu tekniğin eksik kalan yönlerini gidermek için Gri İlişkisel Analiz ile bütünleştirilen araştırmaların sayısı artmaktadır. Gri İlişkisel Analiz ile bütünleştirme çalışmalarının amacı, Hata Türü ve

Etkileri Analizi ile hesaplanan RÖS değerlerinin aynı elde edilme olasılığı ve risklerin birbirinden çok farklı olmasıdır. Gri ilişkisel analiz bu eksikleri gidermesi ile zaman kaybını ve maliyet artışını önleyerek, Hata Türü ve Etkileri Analizinin eksik yönlerini ortadan kaldırmaktır.

Bu çalışmanın birinci bölümünde Hata Türü ve Etkileri Analizi, Gri İlişkisel Analiz ve Uyum Analizi 3 ana başlık altında ele alınmıştır. Bu bölümde; Hata Türü ve Etkileri Analizini tanımı çeşitleri ve adımları, Gri İlişkisel Analizin tanımı ve adımları ile Uyum analizinin anlatılmıştır.

İkinci bölümde Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Gri İlişkisel Analiz'in bütünleştirilmesi süreci konu edinilerek; Türkiye ve Dünya'da yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Üçüncü bölümde araştırmanın amacı, önemi, evreni, örnekleme, varsayımı ve kısıtlarına yer verilmiştir. Gübre üretimi yapan bir işletmede Hata Türü ve Etkileri Analizi yardımıyla toplam 35 hata türü tespit edilmiş, RÖS değerleri hesaplanmış ve risk önceliklendirilmesi yapılmıştır. Ardından kesin bilginin sahip olunmadığı zamanlarda karar vermek için kullanılan Gri İlişkisel Analiz, Hata Türü ve Etkileri Analizi ile bütünleştirilmiştir. Gri İlişkisel Analiz ile Eşit Ağırlık RÖS ve Farklı Ağırlık RÖS olmak üzere 2 ayrı sonuç elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Hata Türü ve Etkileri analizi ile hesaplanan RÖS değerleri ile karşılaştırılmış ve risk öncelik sıralarının değişip değişmediği incelenmiştir. Farklı Ağırlık RÖS ile elde edilen en önemli ilk 10 hata türü kullanılarak hata türleri ve hata ana nedenleri arasındaki ilişki Uyum Analizi yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Araştırmanın sonuç kısmında bulgular, sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.



BİRİNCİ BÖLÜM
HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ, GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ VE
UYUM ANALİZİ

1.1. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA)

Hata Türleri Etkileri Analizi (HTEA) dünya literatüründeki ismiyle Failure Mode Effect Analysis (FMEA), bir ürünün veya hizmetin tasarım aşamasından ürünün son haline geldiği aşamaya kadar ortaya çıkabilecek hataların öngörülerek gerekli önlemlerin alınmasına yönelik geliştirilmiş bir tekniktir. Ürün, hizmet üretimi ve tasarım gibi detaylı olarak ele alınması gereken süreçlerde olası hata türlerinin belirlenmesi; bunları şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik derecelerine göre sıralamak ve önceliklendirmek için kullanılmaktadır. Buna ek olarak sıralanan hata türlerinin önlenmesi için hata nedenlerine bağlı olarak düzeltici tavsiyelerin verilmesine yardımcı olmaktadır.

1.1.1. HTEA'nın Tanımı

Hata türü ve etkileri analizi (HTEA), sistem, tasarım, üretim süreci ya da servislerde meydana gelebilecek hataların değerlendirmesini yapan bir teknik olup hatanın ortaya çıkması ile oluşabilecek sorunların, müşteri gibi algılanması ilkesine dayanmaktadır. HTEA, süreçte saptanan bütün hata türleri için olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik olarak ifade edilen öğelerin tahmini ile gerçekleştirilmektedir (Akın, 1998: 12).

HTEA, hatalar üzerine yoğunlaşarak bilinen veya olası hataları ortaya çıkaran ve bu riskleri önceliklerine göre sıralayan bir teknik olarak tanımlanmaktadır (Musubeyli, 2004: 18). Hata ve olumsuzlukların, sistem, tasarım, proses ve servislerde müşteriye ulaşmadan engellenmesini sağlayan HTEA; oluşabilecek riskleri uygun ve düzgün bir şekilde azaltıp yararlı bilgiler sağlamaktadır. Bundan dolayı süreç boyunca meydana gelebilecek potansiyel hatalar önceden öngörülmekte ve teknik daha etkili hale gelmektedir (Kececioglu, 1991).

Diğer bir açıdan HTEA, proseslerin ve ürünlerin incelenip hatalar meydana gelmeden önce önlenmesi için uygulanan hem bir araç, hem bir teknik ve hem de bir kalite yöntemi olarak düşünülmektedir. Altı Sigma metodolojisi içinde HTEA, bir prosese başlamadan ya da yeni bir hizmet sunmadan önce kaygıları ortadan kaldırmaya yardımcı olur. Prosese, hataların gerçekleşeceği şekilde bakıp, değerlendirerek, bulunan tüm hataları ortadan kaldırmak ve prosesi tekrar yapılandırmak için takip edilecek bir rota

sunmaktadır. Böylece müşteri memnuniyetinin ve güvenlik seviyelerinin arttırılmasını sağlamaktadır (Smith, 2008: 1).

Müşteri memnuniyeti ve güvenlik seviyelerinin arttırılmasına katkıda bulunan HTEA, sürekli iyileştirmenin ve risk yönetiminin bir bölümü olarak değerlendirilmektedir. Süreç girdilerinin işletmeye alınmasından çıktının müşteriye ulaşmasına kadar her aşamayı inceleyip ‘‘burada nasıl hata oluşabilir?’’ sorusunu temel olarak hem ürün hem de süreçlerin geliştirilmesinin önemli bir kısmını oluşturmakta, uygulamaların hayata geçirilmesinde kullanılmaktadır.

HTEA, sistemde oluşabilecek riskleri ve hataları önceden tahmin edip, bu hata ve riskler meydana geldiklerinde, etkilerinin neler olabileceğini öngörüp bunlar için iyileştirme çalışmaları yapmaktadır. Hem nicel hem de nitel öğeleri içinde barındırması ve riski üç çarpanla (şiddet, olasılık, tespit edilebilirlik) değerlendirmesi ile diğer risk analizlerinden farklılaşmaktadır. Bu yönleriyle, hem etkin hem de kolay bir yöntem olması nedeniyle pek çok sektör ve işletmede yaygın olarak kullanılmaktadır (Kara-Zaitri, vd. 1992: 414).

Genel anlamda HTEA;

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

gibi faktörlerin belirlenmesi için kullanılmaktadır (Down vd. 2008: 5).

HTEA, bir ürün veya sürecin potansiyel hatalarının ve bu hataların etkilerinin saptanması ve değerlendirilmesi, potansiyel hatanın gerçekleşme olasılığını azaltacak veya yok edecek faaliyetlerin tanımlanması ve bütün sürecin belgelendirilmesi için tasarlanan sistematik, etkin bir tekniktir (AIAG, 2001).

HTEA’nın ortaya çıkışı İkinci Dünya Savaşı yıllarına kadar uzanmaktadır, Amerikan Ordusu tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu konuda hazırlanmış ilk

prosedür “Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis” başlığıyla basılan 9 Kasım 1949 tarihli MIL – P – 1629’dur. İlk olarak Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) uygulanmıştır (Welborn ve Carol, 2009: 37). Sistem ve ekipman hatalarının değerlendirilmesini sağlayan güvenilirlik saptama tekniğidir. Hata türleri araştırmaya konu olan projenin başarısı ile ekipman ve personel güvenliğine göre sınıflandırılmıştır. Daha sonra HTEA, NASA tarafından aya insan gönderme projesinde 1960 – 1965 yılları arasında kullanılmıştır. Uzun bir süre boyunca gizlenen bu teknik 1970 – 1975 yılları arasında ABD tarafından uçak sanayinde, 1972 yılında Ford Motor Şirketi tarafından ve Japon NEC firması tarafından ilk defa endüstriyel uygulanmıştır.

1988 yılında ABD’nin üç büyük otomotiv şirketi olan General Motors, Chrysler ve Ford tarafından kabul edilerek genel standart olmuştur. Teknik, Şubat 1993 yılından sonra ASQC (The American Society for Quality Control) ve AIAG (The Automotive Industry Action Group) tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde HTEA; QS 9000, ISO/TS 16949, ISO 9001:2000 ve diğer Kalite Yönetim Sistemleri dahilinde zorunluluk haline gelmiştir.

Günümüzde HTEA, çeşitli sektörlerde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunların başında otomotiv sektörü olmak üzere gıda, deniz taşıtları nükleer tasarımlar, metal endüstrisi, bilgisayar yazılım ve donanım endüstrisi, tıbbi cihaz endüstrisi, yarı iletken endüstri ve elektromekanik endüstride gibi çok çeşitli alanlarda hataların önlenmesine yönelik olarak kullanılmaktadır. (Stamatis, 2003: 223).

1.1.2. HTEA ile İlgili Kavramlar ve Öğeler

Her disiplinin kendine has bir dili vardır. HTEA’da kullanılan belirli kavramlar ve bunların kendilerine özel anlamları vardır; bu anlamlar HTEA’ nın kendi içinde iletişimi kurmak için kullandığı metodoloji anlamına gelmektedir (Stamatis, 2003: 83). HTEA’ya ilişkin temel kavramlar aşağıda açıklanmaktadır.

Hata: Sorun, endişe, arıza ve zorluktur. Sistemin, tasarımın, sürecin, hizmetin veya alt sistemin tasarım amacına uygun olarak gerçekleştirilememesidir. Hedeflenen amaç genellikle bir analizle; müşterinin ihtiyaç, istek veya beklentilerinin değerlendirmesiyle elde edilir (Stamatis, 2003: 83).

Hata Türü: Sistemlerde hata ve arızalara neden olan mekanizmalar bir bütünlük halinde ortaya çıkan doğal ve rassal olaylar olabilir. Örneğin bir araba lastiğinde yan

yüzey kusurları ve patlak gibi. Bu hatalar, sistemin ayrı ayrı parçaları da olabilir. Örneğin bir bilgisayarın değişik parçalarındaki (klavye, ekran, hafıza, disk vs.) hatalar gibi. Hataları sebep olan parçalara veya mekanizmalara göre ayrı ayrı ele almak ve hataların her birinin birbirinden bağımsız olması şartıyla, her parça hatasını kendine göre inceleyip, sistemin güvenilirliğini genellemek ve önlem almak olasıdır. Bunlara hata türü denir (Akın, 1998: 15).

Hata Sebepleri: Belirlenen hataların kök nedenleri olarak tanımlanır. Kök nedene ne kadar odaklanılırsa, hataların ortandan kaldırılmasında o kadar başarılı olunur. Bir hatayı değerlendirirken, çözüm için acele etmeden dikkatli olunması gerekmektedir. Hızlı bir çözüm, gerçek sorunların tamamen ortadan kaldırılması yerine, kısa vadeli çözümler ya da hataların tekrar ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir (Stamatis, 2003: 84).

Hatanın Kritikliği: Süreçteki olası hatalar, ürünün değişik parçaları üzerindeki hatalar incelenerek toplam kayıp fonksiyonu ve güvenlik riski üzerindeki şiddeti tespit edilir (Akın, 1998: 15).

Hatanın Etkileri: Sistemdeki, tasarımdaki, süreçteki veya hizmetteki hataların sonucu olarak tanımlanır. Temelde, hatanın etkilerinin şu sorularla ilgisi vardır: ‘‘Bir hata olduğunda ne olur? Hatanın sonuçları nedir?’’ Hatanın etkileri iki açıdan ele alınmalıdır. İlk olarak, hatanın izole edildiği ve başka hiçbir şeyi etkilemediği durumlardır. İkinci olarak, hatanın diğer fonksiyonları veya bileşenleri etkilemesi genel bir bakış açısıdır. Domino etkisi yaratır. Genel olarak, bir etkiye sahip olan hata, yerel nitelikten daha ciddidir. Hatanın etkisi ile şiddet arasında doğrudan bir ilişki vardır. Yani, eğer etki ciddiyse, şiddet yüksek olacaktır (Stamatis, 2003: 87).

Süreç Doğrulama: Hatanın sebeplerinin oluşmasını ve belirli süreç içerisinde tekrarlanmasını engellemek için anında olan kontrollerdir (Stamatis, 2003: 88).

Veri: Sistem kurulum ve satın alma prosedürleri, işletme ve bakım talimatları, denetimler, kalibrasyon prosedürleri, modifikasyonlar, çizim, özellikler ve işletme sistemi ile ilgili tüm performans öğeleridir (Ford Motor Company, 2000).

Hata Oranı: Hataların belirli bir zaman aralığında meydana gelme oranı olarak tanımlanır (Omdahl, 1988).

Hata türü ve etkileri analizine ilişkin temel kavramlar analiz sürecinde ihtiyaç duyulan bilgilerin yani öğelerin bütününün oluşmasına yardımcı olmaktadır. Analizin gerçekleştirilmesi için ihtiyaç duyulan ve belirlenebilmesi için takım çalışması gerektiren HTEA öğeleri aşağıda sıralanmaktadır:

Olasılık: Öncelikli amacı hata ve sebep olasılığını saptamaya çalışmaktır. Hata türünün hangi aralıkla ve hangi sıklıkla meydana geldiği hesaplanarak 1 ile 10 arasında; takım üyelerinin tecrübe ve bilgi birikimlerine göre derecelendirme yapılır. Bu süreçte olasılık derecelendirme tablosundan (Tablo 1.1.) faydalanılır ve hatanın meydana gelme sıklığına göre puanlama yapılır (Akın, 1998: 31).

Olasılık değerini belirlemek için iki farklı kullanılmaktadır. Birinci yaklaşımda, bir hata türü ya da hata sebebi için gerçekleşme olasılığı değeri belirlenmektedir. İkincisinde ise gerçekleşme olasılık değeri ve hata sebebi ile onun sonucunda meydana gelen hata türünün ilişkilendirilmesi ile bulunur. Sebep meydana gelirse, hata türünün de meydana gelebileceği esas alınır. Sözü edilen değer, diğer ikisinin olasılık değerinin çarpımından bulunur (Durhan, 2006: 35).

Tablo 1.1: Olasılık Derecelendirme Tablosu

HATA OLASILIĞI	OLASI SHATA ORANLARI	DERECE
Hemen hemen kesin	1/2 'den fazla	10
Çok Yüksek	1/3	9
Yüksek	1/8	8
	1/20	7
Orta	1/80	6
	1/400	5
	1/2000	4
Düşük	1/15000	3
Çok Düşük	1/150000	2
Hemen hemen olanaksız	1/150000000 'den düşük	1

Kaynak: (Akın, 1998: 31)

Şiddet: Gerçekleşmesi olası hata türünün müşteri üzerindeki etkisinin derecelendirilmesi için kullanılır. Müşteri üzerindeki etki 1 ile 10 arasında Tablo 1.2.'ye göre derecelendirilir. Bu dereceler hatanın şiddeti ile doğrudan bağlantılıdır (Akın, 1998: 32).

Hata şiddetini belirlemek için müşteri anketlerinden, geri dönen ürünlerden, geçmiş dönemlerde benzer ürün veya sistemler için tutulan kayıtlardan, laboratuvar deneyleri veya simülasyon çalışmaları sonuçlarından ve HTEA takım üyelerinin deneyimlerinden yararlanılır (Durhan, 2006: 38).

Tablo 1.2. Şiddet Derecelendirme Tablosu

Etki	Kriter	Derece
Tehlikeli	Emniyetle ilgili arıza, yasalara uyumsuz bir arıza. Hata herhangi bir ikaz olmadan meydana gelir.	10
Ciddi	Emniyetle ilgili arıza, yasalara uyumsuz bir arıza. Hata bir ikaz ile meydana gelir.	9
Çok Büyük	Üretimin tamamı hurdaya ayrılabilir. Ürün fonksiyonlarını kaybedip kullanılmaz hale gelir. Müşteri hoşnutsuzluk duyar.	8
Büyük	Süreç ya da ürün üzerinde büyük etki. Ürün kullanılmaz. Üretimin ayıklanması ve bir bölümün (%100'den az) hurdaya ayrılması gerekir. Müşteri hoşnutsuzluk duyar.	7
Önemli	Parçanın onarılmasına neden olur. Ürün performansı düşmüştür. Ürün çalışmaktadır ama kolaylık ve rahatlık sağlayan bazı parçalar çalışmaz. Müşteri hoşnutsuzluk duyar.	6
Orta	Süreç ya da ürün performansı üzerinde orta şiddette etki. Müşteri ürün kullanımında bazı rahatsızlıklar duyar. Kolaylık ve rahatlık sağlayan bazı parçalar tam olarak çalışmaz.	5
Küçük	Süreç ya da ürün performansı üzerinde küçük şiddette etki. Müşteriler tarafından hata fark edilir ve ürün kullanımında bazı rahatsızlıklar yaşanır.	4
Önemsiz	Süreç ya da ürün performansı üzerinde önemsiz etki. Müşteriler tarafından hata fark edilir.	3
Çok Önemsiz	Süreç ya da ürün performansı üzerinde önemsiz etki. Müşteriler tarafından hata fark edilmez.	2
Etkisi yok	Süreç ya da ürün performansı üzerinde hiçbir etkisi yok.	1

Kaynak: (Akın, 1998: 32)

Tespit Edilebilirlik: Ürün ya da parçanın üretimi tamamlanmadan önce hataların tespit edilebilme olasılığıdır. Bu aşamada hata meydana gelmiş gibi varsayılarak, hatalı olan ürün ya da parçanın sevkini önleme olanağı derecelendirilmektedir. Bu süreçte Tablo 1.3'den faydalanılmaktadır (Akın, 1998: 32).

Tespit edilebilirlik değeri, analiz edilen birimlerin benzerlerinden, ürün iç denetlemelerinden, somut veri olmayan durumlarda grup üyelerinin deneyimlerinden, geçmiş dönem verilerinden yararlanılarak bulunur (Düzgüner, 2002: 74).

Tablo 1.3: Tespit Edilebilirlik Derecelendirme Tablosu

Hatanın Müşteriye Yansıma Olasılığı	Derece
1	10
1/2	9
1/3	8
1/10	7
1/20	6
1/100	5
1/500	4
1/1000	3
1/10000	2
1/100000	1

Kaynak: (Akın, 1998: 33)

Risk Öncelik Sayısı: Risk Öncelik Sayısı (RÖS), Olasılık (O) değeri, Şiddet (Ş) değeri ve Tespit edilebilirlik (T) değerleri çapılarak bulunan bir değer olup; hataların öncelik sırasını belirler ve kritikliğini gösterir (Akın, 1998: 33).

RÖS' ü iki şekilde hesaplanabilir.

- Çarpma İşlemi ile $RÖS = O \times \text{Ş} \times T$
- Toplama İşlemi ile $RÖS = O + \text{Ş} + T$

Bu hesaplamaların yanında RÖS bazen farklı şekillerde de hesaplanabilir. Fakat, RÖS değeri hesaplaması yapılırken olasılık ve şiddet değerleri ele alınmak zorundadır. Bir HTEA uygulamasında, takım üyeleri öncelikleri belirlerken;

- Hatanın müşteri beklentilerindeki etkisi,
- Hatanın maliyetlere etkisi,
- İşçilerin deneyimsiz olma olasılığı,
- Hatanın işletmenin diğer süreçlerine etkisi.

gibi başka faktörlerin de hesaba katılmasını isteyebilir (Stamatis, 2003: 25).

1.1.3. HTEA'nin Avantaj ve Dezavantajları

Üretim sürecinde gerçekleşebilecek hatalar ve olumsuz olaylar, müşterilerin ürün veya hizmet hakkında olumsuz fikirlere sahip olmasına neden olabilmektedir. Bu hataların ve olayların sonradan telafi edilmesi maliyetli ve çok zordur. Bundan dolayı olası hataların önceden belirlenmesi ve gerekli düzenleyici önlemler alınması müşterilerin memnuniyet derecesini arttırmada anahtar bileşen olarak görülmektedir. Günümüzde, hataların müşteriye ulaşmadan engellenmesi ve kalitenin kusursuzlaşması hedeflenmektedir. Buna yardımcı olan en önemli tekniklerden biri HTEA'dır (Kadioğlu, vd. 2009: 43).

HTEA'nın öncelikli amacı, mühendisler, uygulayıcılar ve işletmeler için ürünler ve süreçler sağlamaktır. Bu temel amaç doğrultusunda HTEA'nın amaçları şöyle sıralanır (Crow, 2002);

- Başarısızlık olasılığını en aza indiren ürün veya süreç gereksinimlerini geliştirmek,
- Müşterinin ya da diğer katılımcıların tasarım sürecindeki gereksinimlerini, bu gereksinimlerin olası hatalara yol açmamasını sağlamak için değerlendirmek,
- Hatalara sebep olan tasarım özelliklerini belirlemek ve bunları sistemden çıkarmak veya en azından ortaya çıkan etkileri en aza indirmek,
- Hataların başarıyla giderildiğinden emin olmak ve ürün veya süreci geliştirmek ve test etmek için yöntemler ve prosedürler geliştirmek,
- Tasarımdaki potansiyel riskleri takip etmek ve yönetmek; bunun yanında riskleri takip etmek, kurumsal belleğin gelişmesine ve gelecekteki ürünlerin başarısına katkıda bulunmak,
- Oluşabilecek hataların, ürüne veya ürünü satın alan müşterilere zarar vermemesini veya ciddi şekilde etkilememesini sağlamak.

Bu amaçlar doğrultusunda HTEA; mühendisler, uygulayıcılar ve işletmeler için pek çok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajların başında pazardaki işletmelerin ürün kalitesini ve pazar payını arttırması gelmektedir. Ayrıca işletmenin ürettiği ürün veya hizmete karşı müşterilerin kalite algısını arttırmasının yanı sıra üretilen ürünlerin daha kısa sürede daha az maliyete üretilmesini sağlamaktadır (Yılmaz, 2000: 137-139).

Etkin ve kullanışlı bir yöntem olan HTEA, tüm tasarım ve üretim sorunlarını ve hatalarını ortadan kaldıramayabilir. Temel olarak HTEA, sorunları ve hataları kendi başına belirleyemez ve çözemez, aynı zamanda yapılması gereken işlemi de tanımlayamaz. Bu nedenle temel problem çözme süreci olarak düşünülmez. HTEA'nın dezavantajları ile avantajları Tablo 1.4.'de sıralanmaktadır (Yılmaz, 2000: 137-139; Press, 2003: 17).

Tablo 1.4. HTEA'nın Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
• Ürünün pazara giriş süresini azaltır • Potansiyel değişiklik maliyetlerini azaltır, üretime geçmeden kâğıt üzerinde yapılan değişiklik daha az masrafa sebep olur • Montaj öncesinde ve montaj sırasında, üründe ve süreçte hataların meydana gelme olasılığını ve bunun sebebinin nereden kaynaklandığını (dizayn, operasyon, vb.) saptar • Diğer kaynaklardan elde edilmesi mümkün olmayan hata oranlarını ve türlerini tanımlayarak gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlar • Ürünün, güvenilirlik, tasarım, emniyet alanları ve imalat teknolojisindeki eksik, zayıf ve yetersiz yönlerini belirler • Değişikliklerin ürün için etkilerini tanımlar • Ürün veya hizmetlerin güvenilirliğini ve kalitesini artırır • Şirket imajını artırır • Rekabet avantajını sağlar • Müşteri memnuniyetini artırır • Ürün geliştirme maliyet ve zamanını azaltır • Tasarım geliştirme faaliyetlerinde öncelik sıralaması yapar • Karar vermede kolaylık sağlar • Gelişim güdüsü ortaya çıkarır • Organizasyon kültürünü artırır • İç ıskartaları azaltır • Ürün sorumluluğu konusunda riski azaltır	• Birden fazla fonksiyon içeren karmaşık sistemlerin analizi yorucu ve zor olabilmektedir • Karışık hata türleri bazıları analiz edilememektedir • İnsan hatası ürün veya sürece etki edebilir, çevresel ve doğal hasarlar gibi bütün olasılıkları içerdiğinden analiz kısmı çok uzun sürebilir ve sistemin farklı bileşenlerinin performansının çok iyi bir şekilde bilinmesi gerekmektedir • Başarılı bir sonuç almak için tecrübe, uzmanlık ve iyi bir takım becerisi gerekmektedir • Aşırı bilgi fazlalığı zorluk yarabilmektedir, buda çeşitli sorunlara neden olabilir • Maliyeti ve zamanı artabilir

1.1.4. HTEA'nın Diğer Kalite Teknikleri ile İlişkisi

1980'lerin başından günümüze kadar kalite alanında yapılan çalışmalar, ürün veya sürecin her aşamasında meydana gelebilecek hataları saptayan ve ortadan kaldıran yöntemlere odaklanmakta, bunun sonucu güvenlik artırılırken sürekli iyileşme de sağlanabilmektedir. Bu, geçmişte ortaya çıkan hataların sebeplerini anlayarak ve bu hataların gelecekte tekrar etmesini sürekli bir şekilde engelleyerek gerçekleşir. Bir kalite aracı olarak HTEA, bu tür özelliklere sahip olduğu için Toplam Kalite Yönetimi (TKY)'nde önemli bir yere sahiptir. TKY' de asıl amaç kaliteyi üretmektir. Bu noktada kontrol önemli olmakla birlikte kontrol vasıtası ile hataya ulaşmak, istenilen başarıya götürmemektedir. Bunun yerine hatanın oluşma sebeplerine inerek meydana gelmesini engellemek, dolayısıyla mükemmeli hedeflemek gerekmektedir. Bundan dolayı, HTEA tekniği, TKY'de önemli bir yere sahip diğer kalite teknikleri ile ilişkilidir (Stamatis, 2003: 45).

Bu tekniklerinden Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG), sadece ürün veya hizmetin pazara giriş zamanını belirleyen bir teknik olmaktan ziyade, aynı zamanda müşteri istek, arzu ve beklentilerinin daha tasarım safhasında ürün veya hizmete yansıtılmasını sağlayan bir tekniktir (Crowe ve Cheng, 1996: 37-38).

KFG ve HTEA yöntemlerinin birbirinin eksik yönlerini tamamladığı söylenebilir. HTEA'yı uygulamaya başlarken müşteri talep, beklenti ve isteklerinin somutlaştırılmış haline ihtiyaç vardır. Bundan dolayı KFG tekniğinden faydalanılabilir. Çapraz fonksiyonlu HTEA çekirdek ekipleri, sektördeki alanında uzman kişiler, müşteri firmaların temsilcileri ve tedarikçi firmaların katılımıyla oluşturulan toplantılarda, HTEA'nın dışında "müşterinin sesi" nin saptanmasında da etkin rol alabilir. Dahası HTEA uygulaması sonucunda yüksek RÖS değeri olan noktalar veya hatalar, KFG çalışmaları sırasında öncelikli kontrol noktaları olarak seçilebilir (Taşan, 2006: 46).

Diğer bir kalite tekniği olan Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis- FTA), günümüzde çoğu alanda ve sanayide kullanılır hale gelmiş olup; çıkarımsal olarak bir güvenilirlik ve güvenlik analiz tekniğidir. Genel olarak karmaşık dinamik sistemler için kullanılır. Değişiklikler, analiz, ispat ve yeni eklemeler için tarafsız dayanak sağlar. FTA genelde HTEA'nın yardımcısı olup, hataya sebep olan kök sebepleri sistem ve alt sistem çevresindeki odaklamayla tanımlayan bir uygulamadır (Stamatis, 2003: 45).

Kontrol Planı, üreticinin kalite planlama faaliyetlerinin yazılı bir özetidir. Müşteri memnuniyeti ve özel kalite planlaması gerektiren süreç parametreleri ve tasarım özellikleri bu planda listelenmiştir. HTEA, önemli ve anlamlı özellikleri saptar ve kontrol planına bir başlangıç noktası oluşturur (Stamatis, 2003: 59).

Deney Tasarımı (Design of Experiments- DOE), deney veya çalışmayı yönetmenin çok özel bir yoludur. Belli bağımlı değişkenler önceden tanımlı bir plana uyarlanır. DOE, güvenilirlik testinde kullanılır ve istenmeyen bir olaya neden olan temel faktörleri tanımlayabilir. HTEA uygulamasında DOE'nin optimum kullanımı, çeşitli bağımsız değişkenler veya nedensel faktörlerin etkileşimi hakkında bir kaygı olduğu andır. Belirtilen bağımsız değişkenin çeşitli seviyeleri ile bağımlı değişken arasındaki ilişki DOE'nin yardımıyla belirlenir. DOE, çeşitli bağımsız değişkenlerin bileşik etkisini ve FMEA çalışmalarında etkilerin nedenini belirlemek için kullanılır (Durhan, 2006: 11).

Hata Modu ve Kritiklik Analizi (Failure Mode and Critical Analysis- FMCA) ise kritik bir bakış açısı ile hata türlerini, oranı ve kök sebeplerin miktarını belirlemek için kullanılan sistematik bir yaklaşımdır. HTEA ile diğer tüm yönlerden benzer olan FMCA'nın en önemli katkılarından biri, tek bir hata türüne odaklanarak, onu kritiklik yönünden tanımlayabilmesidir (Stamatis, 2003: 59-62).

1.1.5. HTEA Çeşitleri

Ufak farklılıklarda sahip dört farklı HTEA çeşidi vardır. Analiz etme kriterleri değişebilir ancak adım adım yaklaşım veya teknik temelde aynı kalır. Yaygın olarak kullanılan bu dört çeşit HTEA şunlardır (Dırdağ, 2008: 17);

Sistem HTEA: Tüm ekipman ve tasarımları tamamladıktan sonra üretim veya kalite güvencesi gibi sistemlerin akışını optimize etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bir sistem HTEA, sistem eksiklikleri nedeniyle sistemin işlevleri arasındaki potansiyel hata türlerine odaklanır. Sistemler ve sistem elemanları arasındaki etkileşimleri içerir.

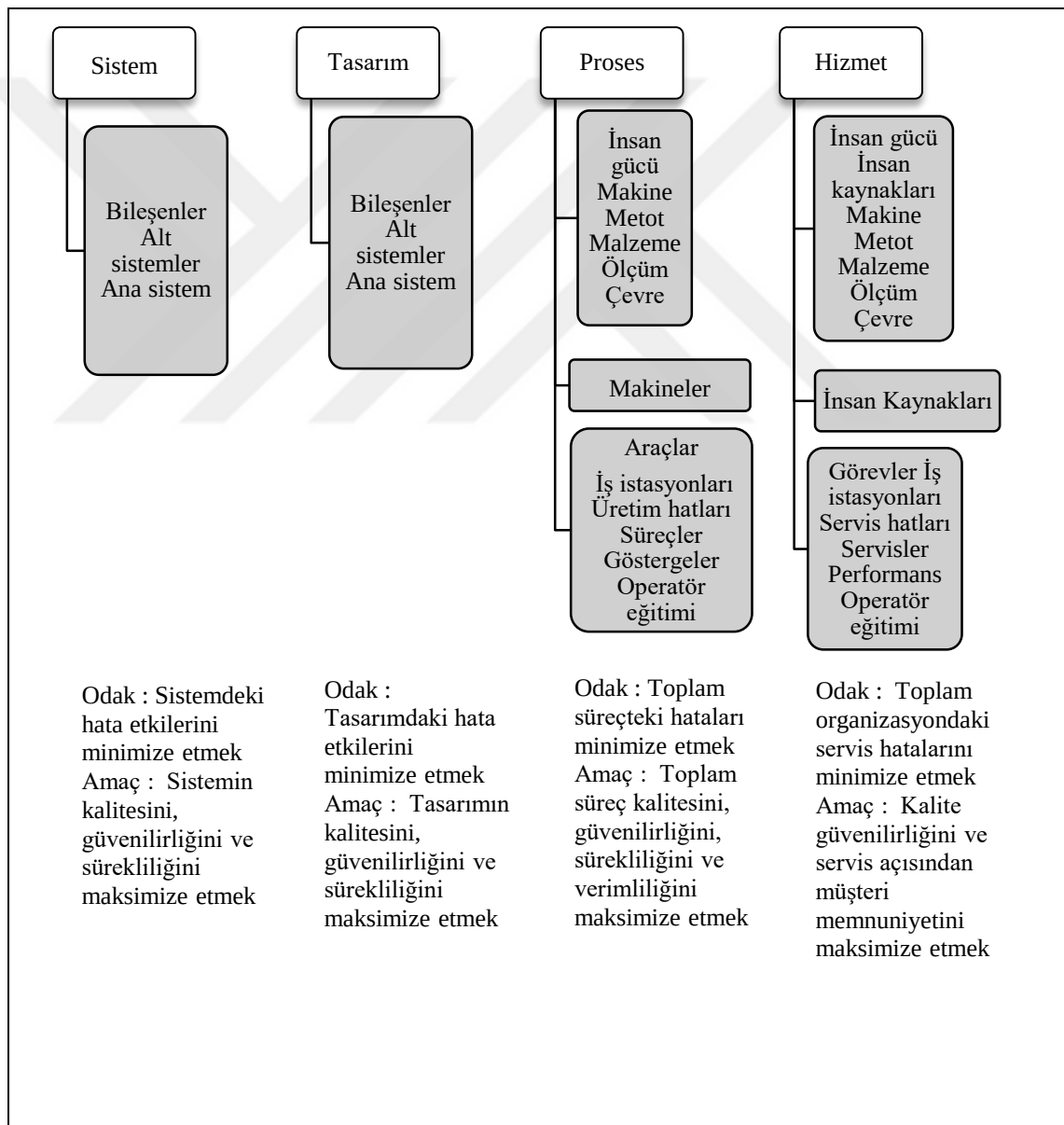
Tasarım HTEA: Ürün tasarımını tamamlamadan önce doğru malzemelerin kullanıldığını, müşteri şartnamelerine uyduğunu ve devlet yönetmeliklerine uyulduğunu garantileyen bir prosedürdür. Tasarım eksikliklerinden kaynaklanan hata türlerine odaklanır.

Proses HTEA: Geleneksel olarak tasarım HTEA raporu hazır olduğunda başlar. İmalat veya montaj işlemleri, demirbaşlar, makineler ve üretim yöntemlerinden kaynaklanabilecek olası arızaları tespit eder.

Hizmet HTEA: Üretim, kalite güvencesi ve pazarlama işlevlerini koordine ederek müşteri hizmetlerini geliştirmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Sistem veya süreç eksikliklerinden kaynaklanan hata türlerine odaklanır.

HTEA'nın çeşitleri ve odaklandıkları konular Şekil 1.1'de verilmiştir.

Şekil 1.1: HTEA Çeşitleri



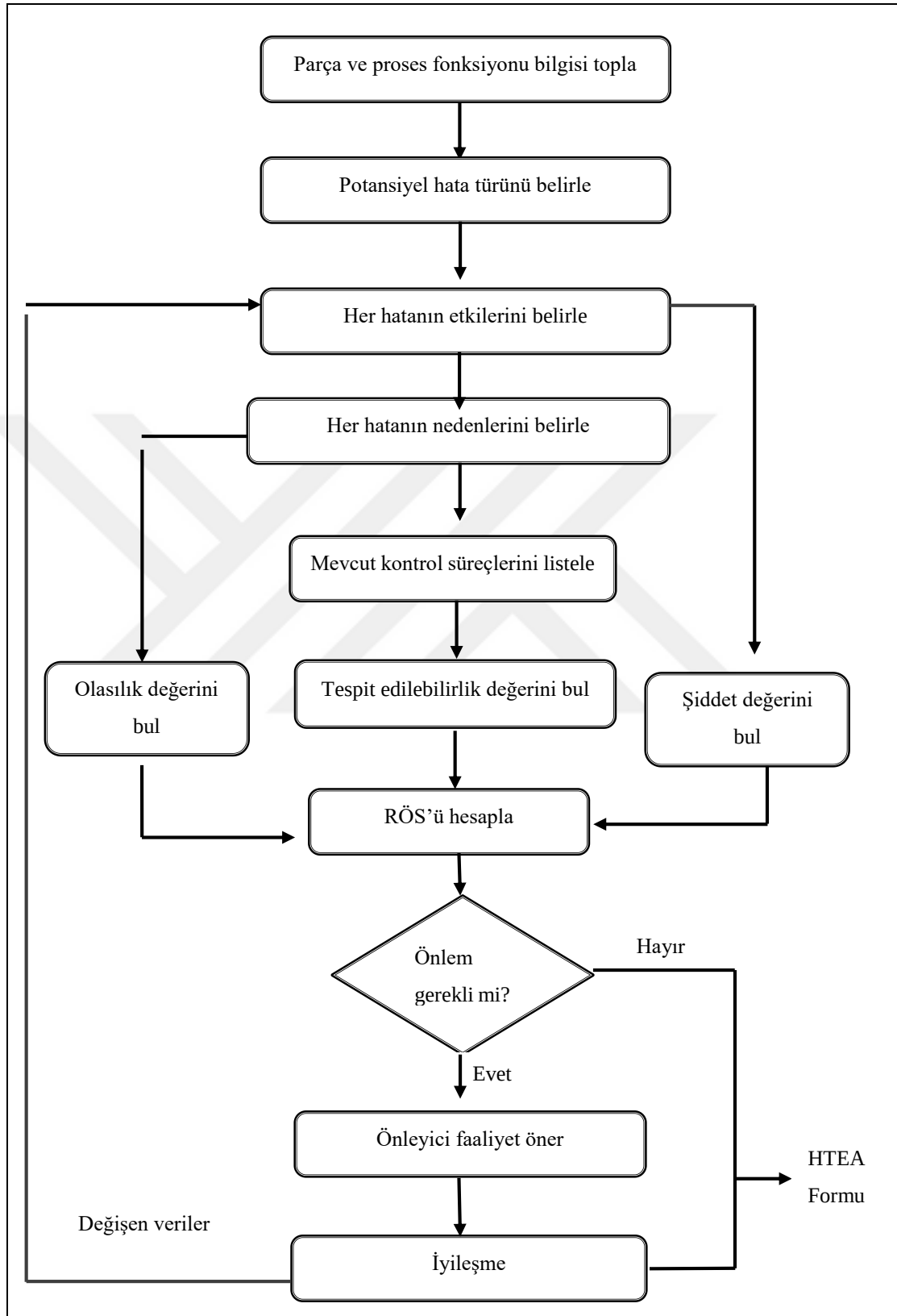
Kaynak: (Stamatis, 2003: 41).

1.1.6. HTEA Adımları

Hata Türü ve Etkileri Analizinde; çalışma sistemindeki muhtemel hatalar tespit edilir, bu hataların sebepleri ile riskleri ve bu nedenlerin etkileri analiz edilerek bu hatalar ortadan kaldırılır. Burada önemli olan nokta, HTEA çalışmalarının başlaması için gereken zamandır. HTEA'nın amacı, müşteriye ulaşmadan önce bilinen ve olası sorunları belirlemek ve önlem almak olduğundan, HTEA çalışmalarına mümkün olduğunca erken başlanması gerekir. HTEA çalışmaları genel olarak 5 adımda (Şekil 1.2.) gerçekleştirilir (Kuvvetli 2008: 41-42);

- Başlangıç çalışmaları,
- Hataları belirlemek için mevcut kontrollerin belirlenmesi,
- Şiddet, Olasılık ve Tespit Edilebilirlik ve Risk Öncelik Sayısının belirlenmesi (RÖS),
- Risk önceliklerinin, hataların ve alınan önlemlerin belirlenmesi,
- Önlemlerin uygulanması ve yeni RÖS değerlerinin hesaplanması.

Şekil 1.2: HTEA Süreci



Kaynak: (Pillay ve Wang, 2003).

• Başlangıç Çalışmaları

Başlangıç çalışmaları HTEA tekniğinin uygulamasından öncesi yapılması gereken çalışmalar ve hazırlıklardan meydana gelmektedir. Bu çalışmalar üç başlıkta incelenmektedir (Durhan, 2006: 25);

HTEA Kapsamının Belirlenmesi

Çalışmanın başında, HTEA'nın amacı, sınırları ve kapsamı belirlenmelidir. Bunu yazılı bir belgeye dökerek, incelenecek olan sistem, tasarım veya süreç hakkındaki bilgiler bu belgeye aktarılmalıdır. Kapsam belirlenirken, HTEA ekibi ve bu ekibin sorumlulukları da belirlenmelidir. Dikkat edilmesi gereken nokta, uygulama alanını çok büyük parçalardan ziyade küçük parçalara bölmektir. Böylece daha iyi sonuçlar elde edilecektir. Dikkat edilecek bir diğer nokta, mevcut durumun ve hedeflerin sayısal tanıımıdır. Bu kolaylık ve objektif kararlar almayı sağlamaktadır (Kuvvetli 2008: 43).

Çalışmanın kapsamı ve sınırları iki şekilde belirlenir (Durhan, 2006: 27);

- İlk olarak, tasarımın ya da prosesin tüm adımlarını içerir, çalışmalar ilerleme ile birlikte zaman içerisinde gerçekleştirilir.
- İkinci olarak ise, tasarım veya üretim sürecinin acil düzeltilmesi gereken ve kritik olarak kabul edilen durumlara öncelik verilir.

HTEA Takımının Kurulması

HTEA sürecini genelde bir kişi yönetir, ancak HTEA'nın uygulanması için bir takım gereklidir. Takımın kurulmasının amacı, farklı bakış açıları ve farklı deneyimler sayesinde projenin bütün yanlarını ele alarak ilerletmektir. Takımın her üyesi farklı uzmanlıklara sahip olup farklı alanları incelediği için yeni bakış açılarının ortaya çıkması sağlanmakta ve proje içinde bilgi akışı kolaylaşmakta, yeni fikirler ileri sürülmektedir. Bu açıdan bir HTEA projesi için takım çalışmasının önemli yeri bulunmaktadır (McDermott vd. 2009: 11). HTEA takımının üye sayısının dört ile altı arasında olması en ideal durumdur. Takımın dört kişiden az olması durumunda alt sistemlerdeki bazı önemli alanlar unutulabilir, uygulanması gereken bazı adımlar tam olarak gerçekleşmeyebilir. Takım üye sayısı altı kişiden fazla olduğu durumlarda, her üye tam olarak uyum sağlamayabilir, karar almada sorun olabilir. Bu durum HTEA projesi için sorun yaratabilir (Bertsche, 2008: 102).

Yapılacak HTEA Çeşidinin İncelenmesi

HTEA projesinin başarılı olabilmesi için incelenen ürün veya sistem hakkında detaylı bilgiye sahip olunmalıdır. Bundan dolayı HTEA uygulanacak olan ürün veya sistem detaylı olarak incelenir. İlk olarak, ürün veya sistemin işlevleri, üretim ve çalışma şekli saptanır. İşlevlerin, ürün veya sistemlerin ne amaçla kullanıldıkları ya da var olma nedenleri ile tanımlanır. Kolaylık sağlamak için bilgilerin gösteriminde iş akış şemasından yararlanılabilir. Test ve değerlendirme yapılması, bütünleşik lojistik destek, sistem emniyeti, kalite güvencesi, tasarım ve geliştirmede kullanılan çalışmalar da HTEA’da faydalanılabilecek önemli kaynaklardır (Durhan, 2006: 27).

• **Hataları Belirlemek İçin Mevcut Kontrollerin Belirlenmesi**

Başlangıç çalışmaları sonucunda oluşturulan takım HTEA’nın kapsam, amaç ve konusu hakkında yeterli bilgiye sahip olacaktır. Bir sonraki aşama, olası hataların incelenmesidir. Aslında bu aşama ve başlangıç çalışmaları birbiri ile iç içe olup daha sonraki aşamaları doğrudan etkilemektedirler. Bu aşamada gerçekleştirilen faaliyetler aşağıda sıralanmıştır (Kuvvetli, 2008: 44);

- ✓ Potansiyel Hata Türlerinin Belirlenmesi
- ✓ Potansiyel Hata Etkilerinin Belirlenmesi
- ✓ Potansiyel hata sebeplerinin belirlenmesi
- ✓ Mevcut kontrollerin belirlenmesi.

• **Olasılık, Şiddet ve Tespit Edilebilirlik ile RÖS’ ün Belirlenmesi**

Potansiyel hata türleri, etkileri, nedenleri ve mevcut kontroller saptandıktan sonra yapılması gereken hata türlerinin kritikliklerine göre analiz edilmesidir. HTEA’nın uygulanmasının nedeni mevcut kaynakları en etkili biçimde kullanmaktır. Bu amacını gerçekleştirirken bütün hatalara bir anda müdahale etmek yerine, hatalara işletme için bir öncelik sırası oluşturur. HTEA tekniği uygulanmaya devam ettikçe hataların zaman içerisinde öncelik sıralaması değişir ve nihai amaç olan mükemmele yaklaşılr (Aran, 2006: 52).

- **Risk Önceliklerinin, Hataların ve Alınan Önlemlerin Belirlenmesi**

RÖS hesaplandıktan sonra hatalar değerlerine göre yani kritikliklerine göre sıralanmaktadır. Bu aşamadan sonra, RÖS değerleri değerlendirilerek önlem alınacak hata türleri ve hatalar belirlenmekte ve alınması gereken önlemler açıklanmaktadır.

HTEA'nın uygulanmasında sık karşılaşılan durumlardan biri farklı hataların RÖS değerlerinin aynı olmasıdır. RÖS'leri aynı değere sahip iki veya daha fazla hata varsa, ilk olarak şiddet değeri, ikinci olarak tespit edilebilirlik değeri yüksek olan hata ele alınmalıdır. Şiddet değeri yüksek olan hata daha önceliklidir, çünkü şiddet değeri hatanın etkisini göstermektedir. Tespit edilebilirlik olasılıktan daha önemlidir, çünkü tespit edilemeyen bir hata müşteriye ulaşabilmektedir (Stamatis, 1995: 26).

RÖS değerleri hesaplanıp, büyüklüklerine göre sıraladıktan sonra yapılması gereken 'Sıralanmış bu hatalardan hangileri için önlem alınmalıdır?' sorusuna karar vermektir. Bunun için RÖS değerlerinin hangi aralıklarda önlem almaya gerek olduğu ya da önlem almaya gerek olmadığı Tablo 1.5.'den faydalanılarak belirlenebilmektedir ve öncelik sırasına göre önlem alınması gereken hata türleri saptanmaktadır.

Tablo 1.5: RÖS Değerlendirme Tablosu

RÖS DEĞERİ	ÖNLEM
$RÖS < 40$	Önlem almaya gerek yok
$40 \leq RÖS \leq 100$	Önlem alınabilir
$RÖS > 100$	Önlem almak gereklidir

Kaynak: (Ford Motor Şirketi 1998: 15)

HTEA çalışmasının birincil amacı, alınacak önlemler ile RÖS değerini daha aşağıya düşürmektir. Bunu yapabilmek için risk faktörlerinin derecelerini (uygulamalarda genellikle kullanılan olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik faktörlerinin değerlerini) küçültecek önlemler alınır (Durhan, 2006: 44).

- **Önlemlerin uygulanması ve yeni RÖS değerlerinin hesaplanması**

HTEA'nın dinamik aşamasını oluşturmak için önlemlerin uygulamaya konulması gerekmektedir. HTEA önleyici faaliyetleri dikkate almaktadır; hatalar

meydana geldikten sonra kalite belgesi almaya veya müşterileri memnun etmeye yönelik faaliyetleri içermemektedir (Yılmaz, 2000: 6).

İlk olarak önlemlerin ne kadar sürede uve kimler tarafından uygulanacağı belirlenir. Daha sonraki aşamada öngörülen önlemlerin yeterli bir şekilde uygulanıp uygulanmadıkları belirlenir. Burada önemli olan önlemlerin devreye alınmasıdır. Bir sonraki aşamada ise kritik RÖS değerleri incelenir ve değerlendirilir, bu ortadan kaldırılincaya kadar devam eder. RÖS değeri istenilen seviyeye düşürüldüğü zaman yeni RÖS değeri hesaplanır. Bazen yeni hata türlerinin meydana gelmesinden dolayı yeni bir HTEA uygulamasın başlanabilmektedir (Durhan, 2006: 45).

1.2. GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ (GİA)

Günümüzde bilim ve teknoloji alanında yaşanan modern gelişmeler, bilimsel araştırmaların etkisi ile ilerlemekte; bu durum herkes tarafından açık bir şekilde görülmektedir. Bu görüş disiplinler arası bilimsel araştırmalar ve bilimsel bazı önemli teorilerin her geçen gün güç kazanması ile daha da hızlanmaktadır. Bunun sonucu olarak, belirli alanlar için kullanılan uygulamalara ve yöntemlere daha çok başvurulmaya başlanmış ve üzerinde fazla çalışma yapılmamış bilimsel konuların disiplinler arası süreçleri araştırılmaya başlanmıştır. Bunlara örnek olarak, yöntemlerin eleştirilmesi, karşılaştırılması, geliştirilmesi, değerlendirilmesi ve yeni yöntemlerin bulunması ve araştırılması sayılabilmektedir. Disiplinler arası süreçlerin incelenmesindeki gelişmeler Sistem Teorisi, Bilgi Teorisi vb. teorilerle birlikte ilerlemiştir. Bu süreçteki gelişmeler ortaya çıkmasının asıl sebebi, teori ve yönteminin uygulanması sırasındaki yeni ihtiyaçların doğmasıdır. Modern bilimin gelişmesi ve bunun etkisi ile toplumsal ihtiyaçların sürekli artması, sistem bilimini gerekli kılmaktadır. Sistem bilimini, belirsizlik düzeylerine göre sınıflara ayırmak, kesin ve kesin olmayan sistemlerin karmaşıklığının ve belirsizliğinin yarattığı sorunları çözmede kolaylık sağlamaktadır. Karmaşıklık ve belirsizliğin giderilmesinde kullanılan en iyi yöntemlerden biri de Gri İlişkisel Analiz (GİA) dir. (Akpınar, 2015: 55; Turgut, 2013: 25)

1.2.1. Gri Teori ve Gri Belirsizlik

İlk kez Julong Deng tarafından 1982 yılında geliştirilen gri teori, kesin veya kesin olmayan bilgilerin yarattığı belirsizlik problemlerini çözmek için etkili bir biçimde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra gri teori, çok nitelikli durumlarda karar

vermek ve kesikli veri setleri arasındaki çeşitli ilişkileri analiz etmek için kullanılan oldukça popüler bir yöntemdir. Bu yöntemin başlıca avantajları; sonuçları ortaya koyan verilerin orijinal olması, hesaplamaların basit olması, kolay anlaşılabilir olması ve karar vermede kullanılan en iyi yöntemlerden biri olmasıdır (Wu, 2002: 311).

Gri teoride oluşan temel konular, yapılan çalışmalar ile birlikte hızlı bir gelişim göstermiştir. Yapılan çalışmalar ve gelişmeler sonucunda gri teorisinin çalışma alanları aşağıda sıralanmaktadır (Baş, 2010: 69);

- Gri sayılardan, gri elemanlardan ve gri ilişkilerden oluşan gri oluşum
- Gri ilişkisel analiz
- Gri sayı veya gri fonksiyonları kullanarak gri sistem modellemesi
- Gri tahmin
- Gri birleştirilmiş modeller
- Gri karar verme
- Gri kümeler
- Gri programlama
- Gri girdi ve çıktı modelleri
- Gri kontrol olarak belirlenmiştir.

Bilginin belirsiz olması bilgi niteliğinin kalitesine ya da bilginin eksik olmasına bağlıdır. Bu nitelik, uygulanabilen ve gerçek olan belirsizliklerden farklıdır. Yapılan bazı çalışmalardaki belirsizlik türleri aşağıda sıralanmaktadır (Liu ve Lin, 2006: 14–15);

- Gri belirsizlik
- Olasılıksal, rassal belirsizlik
- Doğrulanmamış belirsizlik
- Doğrulanmış belirsizlik
- Bulanık belirsizlik
- Kaba belirsizlik

- Yansımali belirsizlik
- K r, karmaşık belirsizlik

Kısmi bilginin uygulamadaki kuralları gri teoride düşünülen hata türlerinin ana özelliğidir. Bu  zellik, gri teori kullanılarak hata ve problemleri çözmenin ana mantığı olmaktadır (Lin ve diğerleri, 2004:198). Bu nedenle, gri teoride ana kavramlardan biri, bilginin kısmi olduğu zamanlarda ya da sona erdirilmemiş durumlar altında kontrol edilebilen sistemler olmasıdır.  rnek olarak; bir işletme almış olduğu kararlarda, yatırımlarını etki eden nedenleri finansal ve durumunu, küresel pazarda mikro ve makro gelişmeler yaşandığını ya da milli ekonomik göstergeler olduğunu düşünebilir. Bu nedenler ne tam olarak belirlidir ne de tam olarak belirsizdir. Bir ekonomik sorunda bu tür nedenlerin var oluşu, sistemin gri sistem özelliğinde düşünülmesini sağlamaktadır.   z m aşaması gri teori yardımıyla hal olabilmektedir. Gri teorinin ortaya çıkış nedeni de bu özelliklerden kaynaklanmaktadır (Yamaguchi ve diğerleri, 2007: 401).

1.2.2. G A, Grilik ve Temel Kavramları

Gri sistem teorisi, bütün bilgiye sahip olunmasını beyaz, hiçbir bilgiye sahip olunmamasını siyah ve eksik bilgiye sahip olunmasını gri olarak tanımlamaktadır. Küçük  rneklem ve eksik bilgi bulunan karar verme zorluğunun çözülmesi için kullanılan bir teknik olan G A’nde iki ölçüt ya da seçenek arasındaki değişim düzeyi gri ilişkisel derece olarak tanımlanmaktadır. Karar verme etmenlerinin birbirleri arasındaki farklılıkların ve benzerliklerin zaman içerisindeki değişim seviyelerini ölçen sisteme G A denilmektedir (Feng ve Wang, 2000: 135).

Gri teori, “gri” olan bir sistemde analiz, modelleme, tahmin ve karar verme için kullanılan bir yöntemdir ve bu bazılarının bilindiği ve diğerlerinin bilinmediği anlamına gelmektedir. G A, birden fazla faktör arasındaki karmaşık bir ilişkiden oluşan çok kriterli karar verme problemi ile ilgilenen gri teoriden farklılaşmaktadır. Çeşitli ilişkileri analiz ederek karar vermede yararlı olan basit ve veri odaklı bir yöntem olduğu için, çeşitli karar verme problemlerinde kullanılmaktadır. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, belirsizliğin etkili bir şekilde işlenmesi, çoklu girdi, ayrık veri ve veri bütünlüğü açısından rekabet avantajları vardır. Özellikle, farklı ağırlık katsayılarının faktörlere atanmasını sağlayan esneklik, iyi bir avantaj haline gelmektedir (Geum, 2011: 3127).

Temel amacı; sosyal bilimler ile doğa bilimleri arasındaki mevcut boşluğu kapatmak olan GİA, hakkında eksik bilgi sahibi olunan konularla ilgilenen ve 1982'den beri çeşitli uzmanlık alanlarında kullanılmaktadır. Buna insan vücudu, tarım ve ekonomi vb. örnek verilebilir. Mevcut gri ilişkilerin hangi kısımlarının zayıf, eksik ve belirsiz olduğunu göstermek için gri elementler ve gri sayılar kullanılmaktadır (Deng, 1989: 1).

Ekonomik, sosyal, tarım, sanayi, çevre bilimi ya da biyolojik gibi doğal sistemler araştırma konularına göre isimlendirilmektedir. Fakat GİA, bu isimleri araştırma konularının rengine göre seçmektedir. Renkler koyulaştıkça bilginin belirsizliği artmakta, renkler açıldıkça bilginin belirsizliği azalmaktadır. Örneğin; araştırmacı için siyah bir kutu, içinde ne olduğu belli olmayan bir nesnedir. Bunun aksine beyaz kutu ise araştırmacının kutunun içinde ne olduğunu net olarak bildiği ve gördüğü bir nesnedir. Sonuç olarak siyah olarak nitelendirilen bilgi kesin olarak bilinmeyen, beyaz olarak nitelendirilen bilgi ise kesin olarak bilineni ifade etmektedir. Gri bilgi ise, görünüm ve anlam olarak hem kısmen bilineni hem de belirsizliği ve kısmen bilinmeyen bilgiyi ifade etmektedir. Bundan dolayı kesin bir şekilde bilinmeyen bilgiye siyah sistemler, kesin bir şekilde bilinen bilgiye beyaz sistemler, kısmi olarak bilinmeyen ve kısmi olarak bilinen bilgiye ise gri sistemler denilmektedir. Siyah, Gri ve Beyaz Sistemlerin Karşılaştırılması Tablo 1.6.'da gösterilmektedir (Liu ve Lin, 2006: 4-5).

Tablo 1.6. Siyah, Gri ve Beyaz Sistemlerin Karşılaştırılması

	Siyah	Gri	Beyaz
Bilgi	Kesin bilinmeyen	Eksik	Kesin bilinen
Görünüm	Karanlık (Koyu)	Gri	Açık (Berrak)
Süreç	Yeni	Eskinin değişimi	Eski
Özellik	Kaos	Güçlülük	Düzenli
Yöntembilim	Negatif (Olumsuz)	Değişim	Olumlu (Pozitif)
Davranış	Hoşgörülü	Toleranslı	Ciddiyetli
Sonuç (karar)	Çözüm yok	Çok çözüm	Tek çözüm

Kaynak: (Liu ve Lin, 2006: 5)

1.2.3. GİA'nın Adımları

GİA yöntemi, karmaşık ve vakit alan hesaplamalara ihtiyaç duymadan net adımlarla kolay uygulanabildiğinden dolayı diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmektedir (Özari ve Erol,2019:233).

GİA, gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör (referans serisi) serisi arasındaki ilişki derecesini belirlemeye yarayan bir yöntemdir ve her bir faktör bir dizi (satır veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak isimlendirilir (Yılmaz ve Güngör, 2010:3). Bu doğrultuda GİA yönetiminde ilk olarak yapılması gereken, bütün alternatiflerin performans değerlerinin karşılaştırılabilir değerlere dönüştürülmesidir. Bu aşama, yani dönüştürülme işlemi ile GİA'nın ilk aşaması tamamlanmış sayılmaktadır. Bu değerlerin sonucunda standart (referans) değeri elde edilmektedir. Daha sonra elde edilen standart (referans) değerler ile karşılaştırılabilir değerler arasındaki gri ilişkisel katsayılar hesaplanmaktadır. Son olarak, bulunan bu katsayıları kullanarak tüm karşılaştırılabilir değerler ile tüm standart (referans) değerler arasındaki gri ilişkisel dereceler hesaplanmaktadır (Güleç ve Özkan, 2017: 84).

GİA aşağıda sıralanmış 6 adımda uygulanmaktadır;

1. Adım: Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında, üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer almaktadır. $X_i(j)$ matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Karar matrisi alternatifleri (m) ve bu alternatiflere ait kriterleri (n) temsil etmektedir ve (1)'deki gibi gösterilmektedir (Öziç vd. 2017: 71).

$$X_i(j) = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & \cdots & X_1(n) \\ X_2(1) & X_2(2) & \cdots & X_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_m(1) & X_m(2) & \cdots & X_m(n) \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. Adım: Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Faktörlerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için aralarındaki birim farklılıklarının ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu doğrultuda GİA'de “gri ilişkisel oluşum” olarak da adlandırılan ve bütün Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinde uygulanan verilerin normalize edilmesi işlemi yapılmaktadır. Bu işlem faktörlerin fayda

veya zarar (maliyet) kaynaklı olmasından dolayı 3 değişik şekilde gerçekleştirilmektedir (Şimsek, 2018: 7-8);

- Nozmalize işleminde eğer değişken; fayda temelli uygulanmak isteniyorsa, bir başka deyişle değişkenin daha yüksek değere sahip olması karar için daha iyi ise normalize etme işlemi eşitlik (2) deki gibi yapılmaktadır;

$$X_i(j) = \frac{X_i(j) - \min X_i(j)}{\max X_i(j) - \min X_i(j)} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

- Nozmalize işleminde eğer değişken; zarar (maliyet) temelli uygulanmak isteniyorsa, bir başka deyişle değişkenin daha yüksek değere sahip olması karar için daha kötü ise normalize etme işlemi eşitlik (3) deki gibi yapılmaktadır;

$$X_i(j) = \frac{\max X_i(j) - X_i(j)}{\max X_i(j) - \min X_i(j)} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

- Nozmalize işleminde eğer bir değişkenin ideal bir değere yaklaşması isteniyorsa normalize etme işlemi eşitlik (4) deki gibi yapılır yapılmaktadır;

$$X_i(j) = 1 - \frac{IX_i(j) - X_o(j)I}{\max X_i(j) - X_o(j)} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Burada $X_o(j)$ ideal değeri göstermektedir ve $\min X_i(j) \leq X_o(j) \leq \max X_i(j)$ arasındadır. Normalize etme işlemi tamamlandıktan sonra değişkenler arasındaki birim farklılıklar ortadan kaldırılmakta ve karşılaştırılabilir duruma getirilmektedir. Bütün değişkenlere ait değerler 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır (Şimsek, 2018: 7-8).

3. Adım: Referans serinin oluşturulması

2. adımda normalize edilen karar matrisi (X') eşitlik (5)'de yer almaktadır (Gök, 2015: 69);

$$X'_i(j) = \begin{bmatrix} X'_1(1) & X'_1(2) & \dots & X'_1(n) \\ X'_2(1) & X'_2(2) & \dots & X'_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X'_m(1) & X'_m(2) & \dots & X'_m(n) \end{bmatrix} \quad (5)$$

n adet faktörün her biri için ayrı ayrı belirlenen referans değerlerinin referans matrisi (X_0) ise eşitlik (6)'da gösterilmektedir;

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), X_0(3), \dots, X_0(n)\} \quad (6)$$

Referans matrisinde bulunan $X_0(j)$ değerleri için normalize etme işlemi sonrasında aldığı değerler nedeniyle 2 şekilde seçim yapılır. En büyük $X'_i(j)$ değeri seçilmektedir veya en yüksek performansı temsil eden 1'e yakın veya eşit olması istenmektedir. Uygulama yapılırken genel olarak $X_0(j)$ değerleri 1 olarak alınmaktadır (Gök, 2015: 69).

4. Adım: Fark Matrisinin Hesaplanması

Mutlak değer tablosu faktörlerin katsayı farklarını hesaplanmak için kullanılmaktadır. Katsayı farkı, karar matrisindeki değerler ile referans değeri arasındaki farktır ve (7)'de gösterilmektedir (Öziç vd. 2017: 71).

$$\Delta_{0i}(j) = |X_0(1) - X_i(1)|, |X_0(2) - X_i(2)| \dots |X_0(n) - X_i(n)| \quad (7)$$

5. Adım: Gri İlişkisel Katsayının Hesaplanması

Gri ilişkisel katsayı $X_{i(j)}$ değeri ve $X_0(j)$ değeri arasındaki gri ilişkisel katsayı (8)'deki gibi hesaplanmaktadır (Şimşek, 2018: 9);

$$(X_0(j), X_i(j)) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0j}(j) + \zeta \Delta_{max}} \quad (8)$$

Δ_{max} = Dizi içindeki en büyük değişim değeri

Δ_{min} = Dizi içindeki en küçük değişim değeri

ζ = Dizideki en büyük değeri küçültmek için kullanılır. Genellikle 0,5 olarak alınır.

6. Adım: Gri İlişkisel Derecesinin Hesaplanması

Gri ilişkisel derece, gri ilişkisel katsayıların her bir faktör için ağırlıklı toplamalarını ifade etmektedir ve eşitlik (9)'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Gök, 2015: 70-71);

$$Y(X_o, X_i) = \sum_{j=1}^n \varepsilon(X_o(j), X_i(j)) * W_i(j) \quad (9)$$

Burada $W_i(j)$ değeri her bir faktör için belirlenen ağırlıkları ifade etmektedir. Eğer faktörler eşit ağırlık değerlerine sahip olursa, eşitlik (10)'da verilen formül ile hesaplanmaktadır;

$$Y(X_o, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \varepsilon(X_o(j), X_i(j)) \quad (10)$$

Gri ilişkisel derece, her bir alternatife ait seri ile referans serisi arasında olan benzerlik derecesini ölçmektedir. Alternatif seri referans serisine ne kadar benziyorsa gri ilişkisel derece değeri o kadar artmaktadır (Gök, 2015: 70-71).

1.3.UYUM ANALİZİ

Uyum analizi (Correspondence Analysis), değişkenlerin birbiri arasındaki uyumların iki ya da daha çok boyutlu çapraz tablolarla analiz edilmesi gereken durumlarda kullanılan ve tanımlayıcı özellikte olan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulanması sonucunda her bir değişkenin kategorileri arasındaki ilişkiler (uyumlar) grafiksel olarak analiz edilmekte ve yorumlanmaktadır (Kılıç, 2016: 1).

Uyum Analizi, kategorik olarak oluşturulmuş ya da kategorize edilerek tablo haline getirilmiş olan ve tablonun gözelerindeki frekans değerlerinin yetersizliği sebebiyle ki-kare analizinin yetersiz olduğu, ki-kare analizi ile analiz edildiğinde değişken kategorileri arasındaki sıra, sütun gösterimlerinin önem sıralamalarının eşanlı yapılamadığı durumlarda, çapraz tablolarda göze frekanslarının yetersiz olması sebebiyle birleştirme yapılması gerektiği kontenjans tablolarında ki-kare analizi yerine uygulanan bir yöntemdir (Özdamar, 2004: 462).

Bir değişkenin belirli seviyelerinin diğer bir değişkenin bazı seviyeleriyle birlikteliğinin olup olmadığını ve iki boyutlu kontenjans tablolarında gözelerdeki frekans değerlerini kullanarak iki değişkenin gözlemlenen birlikteliğini belirleyen Uyum Analizi, iki boyutlu bir kontenjans tablosunun satır ve sütunlarının tablodaki ilişkilerine uygun olacak şekilde iki boyutlu bir uzayda noktalar halinde geometrik gösterime sahiptir. (Çakmak vd. 2012: 127). Uyum analizinin başlıca amacı, karışık yapıda olan bir veri matrisini (kontenjans tablosu) önemli derecede bir bilgi kaybı sebep olmayacak şekilde daha basit yapıda yeni bir veri matrisi ile gösterilmesidir. Başka bir deyişle, satır ve sütun değişkenlerinin birbirleri ile arasındaki ilişkiyi daha basit bir şekilde yeni bir matris ve grafik ile açıklamaktır. Yöntem, iç içe kontenjans tablosu veya kontenjans tablosu biçiminde gösterilen değişkenlerin alt sınıflarındaki yoğunlaşmalarını ki kare uzaklığı veya öklid uzaklığı cinsinden hesaplayarak ağırlıklı ana bileşenlere göre değerlendirir (Özgür, 2013: 6-7).

1.3.1. Uyum Analizinin Temel Kavramları ve Aşamaları

Uyum analizinde kullanılan temel kavramlar; kontenjans tablosu, profil, kütle, ki-kare uzaklıkları ve inertia'dır.

Kontenjans Tablosu: Verilerin iki ya da daha fazla kategorik değişkene göre sınıflara ayrıldığı ve bu ayrılan sınıflamada, hesaplanan frekansların özetlenmiş halidir. Genelde $r \times c$ kontenjans tablosu olarak bilinir ve iki boyutlu olan kontenjans tablosunda; c sütunları, r ise satırları (Tablo 1.7.) göstermektedir (Çakmak vd. 2012: 127).

Profil: Çapraz tablolar analiz edilirken ve yorumlanırken bütün gözelerin frekans değerlerinin ayrı ayrı kıyaslanmasının çok bir anlamı yoktur. Güvenilir ve sağlıklı bir kıyaslama yapabilmek için, yaklaşım olarak satır ve sütunların aynı temelde ele alınması gereklidir. Bundan dolayı, satır ve sütunlardaki değerler, satır ve sütun değerlerinin toplamalarına oranlanır ve daha sonra orantılı frekansları hesaplamak için yüzdeleri hesaplanır; her bir satır ve sütun toplamının bir olması sağlanır. Bu orantılı değerlere profil'dir. Sonuç olarak, satır ve sütun profilleri satır ve sütun değişkenlerinin kategorilerinin sütun ve satır değişkeninin her kategorisi için ayrı ayrı hesaplandığı orantılı frekans değerlerini göstermektedir (Greenacre ve Blasius, 1994: 9).

Tablo 1.7. İki Boyutlu Kontenjans Tablosu

	1	2	...	c	Satır Toplamı
1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1c}	n_{1+}
2			...	n_{2c}	n_{2+}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots \dots$	$\vdots$	$\vdots$
R	n_{r1}	n_{r2}	...	n_{rc}	n_{r+}
Sütun Toplamı	n_{+1}	n_{+2}	...	n_{+c}	N

Herhangi bir satırda bulunan her bir gözlenen frekans değerinin o satırın toplam frekans değerine bölünmesi sonucu elde edilen i . satır profili $r+$,

$\left(\frac{n_{r1}}{n_{r+}}, \frac{n_{r2}}{n_{r+}}, \dots, \frac{n_{rc}}{n_{r+}}\right)$ olarak ifade edilmektedir.

Bir sütunda yer alan her bir gözlenen frekans değerinin o sütunun toplam frekans değerine bölünmesi sonucu elde edilen j. sütun profili +c,

$$\left(\frac{n_{1c}}{n_{+c}}, \frac{n_{2c}}{n_{+c}}, \dots, \frac{n_{rc}}{n_{+c}}\right) \text{ şeklinde ifade edilmektedir.}$$

Bu işlemler sonucu kontenjans tablosunda yer alan satır ve sütunlardaki değişkenlerin her biri için ayrı ayrı profiller hesaplanmaktadır.

Uyum analizinde iki ayrı kavram daha vardır. Bunlar ortalama satır ve ortalama sütun profili'dir. Ortalama satır profili bulunurken yapılması gereken, farklı sütunlardaki toplam gözlem sayısının genel toplama bölünmesi;

$$\left(\frac{n_{+1}}{N}, \frac{n_{+2}}{N}, \dots, \frac{n_{+c}}{N}\right) \text{ biçimindedir.}$$

Ortalama sütun profili bulunurken yapılması gereken, farklı satırlardaki toplam gözlem sayısının genel toplama bölünmesi;

$$\left(\frac{n_{1+}}{N}, \frac{n_{2+}}{N}, \dots, \frac{n_{r+}}{N}\right) \text{ şeklindedir (Çakmak vd. 2012: 128-129).}$$

Bulunan noktalar merkez olarak adlandırılır ve ana eksenlerin orijine göre yerini belirlemektedir. Ancak bir profil ortalama profile göre çok farklı ise bu nokta orijinden uzak, yakın ise profiller merkeze yakın yer almaktadır. Eğer kategoriler eşit profillere sahip olursa, bütün noktalar merkezde toplanacaktır (Uzgören,2007: 5).

Kütle: Uyum analizinin amacı tabloda yer alan satır noktalarının uzaklıklarını birbirine eşitleyen bir düzen bulmaktır. Analiz ile yakınlaştırılan uzaklıklar ağırlıklandırılmıştır ve ağırlıklandırılan uzaklıklar kütle kavramını baz almaktadır. Uyum analizinde, her profile ilişkisi olan en önemli kavramlardan birisi de kütle'dir. Frekans değerinin marjinal frekansına olan etkisidir. Satır ve sütun değerlerinin toplamının genel toplama bölünmesi ile elde edilmektedir (Seyfullahoğulları,2003: 43; Özdamar,2004: 465).

Ki-kare uzaklıkları: Uyum analizinde yer alan satır ve sütun profilleri noktalarının gösterilebilmesi için bir uzay tanımlanmaktadır. Bu uzayda yer alan satır ve sütun profilleri arasındaki uzaklık diğer adı tartılı öklid uzaklığı olan Ki-kare uzaklığı ile bulunmaktadır (Çakmak vd. 2012: 129).

i'nci satır profili ile ortalama satır profili arasındaki öklid uzaklığı;

$$s(i, i') = \sqrt{\sum_{j=1}^c \left(\frac{n_{ij}}{n_{r+}} - \frac{n_{+c}}{N} \right)^2} \text{ olarak elde edilmektedir (Çakmak vd. 2012: 129).}$$

Analizi uygularken genelde tartılı öklid uzaklığı olan Ki-kare uzaklığı kullanılmaktadır ve tartılar ortalama profil elemanlarının tersi şeklindedir.

i'nci satır profili ile ortalama satır profili arasındaki Ki-kare uzaklığı;

$$d(i, i') = \sqrt{\sum_{j=1}^c \frac{\left(\frac{n_{ij}}{n_{r+}} - \frac{n_{+c}}{N} \right)^2}{\frac{n_{+c}}{N}}} \text{ olarak elde edilmektedir (Uzgören,2007: 6).}$$

Kontenjans tablolarında ki-kare uzaklığı; herhangi bir satır (veya sütun) profili elemanları ile ortalama satır (veya sütun) profili elemanları arasındaki farkların karesi alınıp daha sonra bu farkların her birinin, ortalama satır (veya sütun) profilinin karşılık gelen elemanı ile bölünüp, bu değerlerin toplamının karekökünün alınması ile hesaplanır (Çakmak vd. 2012: 129).

Bu uzaklıklar farklı değişkenlerin kategorileri arasında değil, aynı değişkenin farklı kategorileri arasında hesaplanır. Uyum analizi bu ki-kare uzaklığı temeline dayalı olup ki-kare istatistiğinin ayrıştırılmasına ilişkin bir teknik olarak da tanımlanabilmektedir (Uzgören,2007: 7).

Hareketsizlik (inertia): Ki-kare uzaklığı yardımı ile satır profil noktaları ile ortalama satır profil noktası ya da sütun profil noktaları ile ortalama sütun profil noktası arasındaki karesi alınmış ki-kare uzaklıklarının ağırlıklı ortalamasıdır (Greenacre ve Blasius,1994: 12).

Profillerin ortalama profillerden ne kadar saptığını grafiksel olarak özetleyen uyum analizinde, ki-kare uzaklığı ile yakın ilişkisi bulunan hareketsizlik (inertia) $\Lambda^2 = \frac{x^2}{N}$ ile hesaplanmaktadır (Çakmak vd. 2012: 130).

Toplam hareketsizlik (inertia) phi-kare cinsinden de, $\varphi^2 = \frac{x^2}{N} = \Lambda^2$ şeklinde de yazılabilmektedir (Clausen,1998: 15; Uzgören,2007: 8)

Değişkenlerin aldığı değerlerdeki değişimin bir ölçüsü olan Toplam hareketsizlik değerinin düşük olması, veride değişkenliğin az olduğunu veya

değişkenliğin olmadığını gösterir. Büyük bir hareketsizlik değeri, satır ve sütunlar arasındaki birlikteliğin yüksek olduğunu, sıfıra yakın bir inertia değeri ise birlikteliğin olmadığı anlamına gelir ve profil noktalarının grafik gösterimde birbirine yakın bir serpilme gözlenir (Clausen, 1998: 14)

Uyum analizinin temel ve diğer tekniklerden farklı özelliklerinden biri, analiz sonuçlarını harita olarak isimlendirilen grafikler ile sunan bir teknik olmasıdır.

Haritalar, ki-kare uzaklıkları kullanılarak satır (yada sütun) noktaları arasındaki uzaklıklar ve farklı noktaların merkeze uzaklığı ya da dik uzaklıklarının hesaplanması ile oluşturulur (Çakmak vd. 2012: 130).

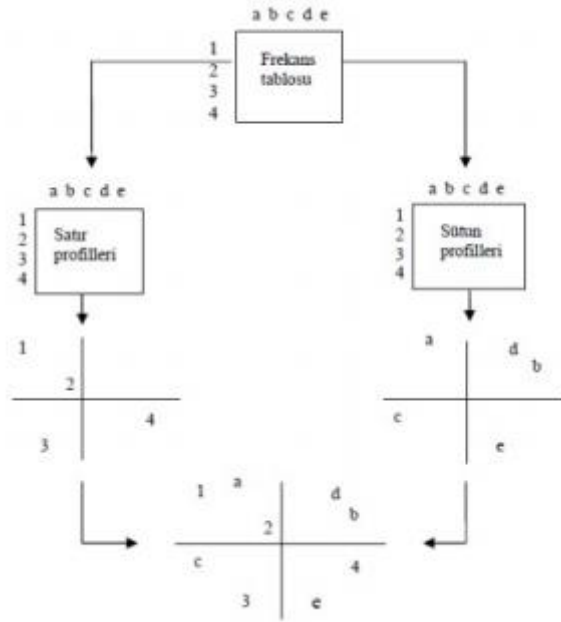
Uyum analizini tabloda gösterme süreci şu şekildedir (Seyfullahoğulları,2003:41);

- Satır ve sütun profillerinin hesaplanması,
- Satır ve sütun profillerinin ayrı haritalarda gösterilmesi
- Satır ve sütun profillerinin iki boyutlu uzayda aynı harita üzerinde gösterilmesi .

Uyum Analizinin Aşamaları

Uyum analizi iki aşamadan oluşmaktadır ve bu aşamaların her biri kendi içinde 3 ayrı adımdan oluşmaktadır. İlk olarak değişkenlerden birinin kategorileri dikkate alınarak çözümleme yapılır. Yapılan çözümlemede kategori profiller, kütleler ve uzaklıklar belirlenir. Aynı çözümleme diğer değişkenin kategorileri için de belirlenir. Uyum analizinde boyutları bulmak için temel bileşenler analizinden faydalanmak gerekir. Hem Uyum analizinde hem de temel bileşenler analizinde tekil değer ayrıştırması kullanılmaktadır. Şekil 1.3.de Uyum analizinin aşamaları gösterilmektedir (Kılıç, 2016: 4).

Şekil 1.3. Uyum Analizinin Aşamaları



Şekil 1.3. incelendiğinde değişkenlerin kategorilerine göre elde edilen frekans tablosundan satır profilleri ve sütun profilleri hesaplanarak buradan elde edilen koordinatlar yardımıyla kategoriler koordinat düzleminde gösterilmektedir. Son olarak, satır ve sütun profilleri aynı düzlemde gösterilerek yorumlanmaktadır (Kılıç, 2016: 4).



İKİNCİ BÖLÜM

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE GRİ İLİŞKİSEL ANALİZİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. HTEA İLE GRİ İLİŞKİSEL ANALİZİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ

Gri ilişkisel analiz, nitel ve nicel seriler arasındaki ilişkiyi analiz etmek için bir ölçü sağlamaktadır. Ancak bu analizin gerçekleştirilebilmesi için serilerdeki tüm bileşenlerin mevcut, sayılabilir, genişletilebilir ve bağımsız özellikte olmaları gerekmektedir. HTEA faktörleri bu özelliklerin tümüne sahip olduğu için, gri teori HTEA'ya uygulanabilmektedir. Aynı zamanda, HTEA'ya gri ilişkisel analiz uygulamanın en büyük kolaylığı; sahip olduğu yetenekleridir. HTEA'nın bu yetenekleri her faktöre farklı ağırlık verilmesi ve herhangi bir formun yardımcı işlev gerektirmemesidir. HTEA'da gri ilişkisel analiz, aşağıdaki adımlar takip edilerek yapılmaktadır (Chang vd., 2001: 212-214):

1. Adım: Karşılaştırmalı Serilerin Belirlenmesi

Olasılık, tespit edilebilirlik ve şiddet ile ilgili n tane bileşen ya da karar faktörü içeren bilgi serisi aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir.

$$X'_i = (X'_i(1), X'_i(2), \dots, X'_i(K)) \in X$$

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

$X'_i(K)$, X'_i 'nin k. faktörünü ifade etmektedir. Eğer tüm bilgi serisi karşılaştırılabilir ise n tane bilgi serisi aşağıdaki matristeki gibi gösterilebilir.

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

2. Adım: Standart (Referans) Serilerin Belirlenmesi

İki seri arasındaki ilişkiyi, ilişki derecesi tanımlayabilir ve bu nedenle standart seri adı verilen nesnel bir seri oluşturularak; $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(k)\}$ olarak ifade edilmektedir.

HTEA yürütülürken, puan ne kadar küçükse risk de o kadar küçüktür. Bu nedenle standart serilerde tüm faktörlerin en küçük değerleri alınarak yapılır.

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

3. Adım: Karşılaştırmalı Seriler ile Standart Seriler Arasındaki Farkın Alınması

Gri ilişkinin derecesini tespit etmek için karşılaştırmalı seriler ve standart seriler arasındaki fark, aşağıdaki matris kullanılarak ifade edilmektedir.

$$D_0 \begin{bmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \Delta_{01}(3) & \cdots & \Delta_{01}(k) \\ \Delta_{02}(1) & \Delta_{02}(2) & \Delta_{02}(3) & \cdots & \Delta_{02}(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{0n}(1) & \Delta_{0n}(2) & \Delta_{0n}(3) & \cdots & \Delta_{0n}(k) \end{bmatrix}$$

İki seri arasındaki fark $\Delta_{0j}(k) = \|X_0(k) - X_j(k)\|$ şeklinde hesaplanmaktadır.

4. Adım: Gri İlişkisel Katsayısının Hesaplanması

İlişkisel katsayıyı hesaplamak için, hata türünün karar faktörleri, standart seri ile karşılaştırılır ve ilişkisel katsayı aşağıdaki denklemlerle ifade edilir:

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

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

$X_0(k)$ = Standart Seriler ve $X_i(k)$ = Karşılaştırmalı Seriler

$$\Delta_{0j} = \|X_0 - X_j(k)\|$$

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

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

ζ değeri 0 ile 1 arasında yer alan tanımlayıcı bir katsayıdır. Gri ilişkisel analiz sonrası sıralamayı etkilemeksizin maksimum değer ilişkisel katsayısına olan etkisini azaltmak için, bu değer genellikle $\zeta = 0,5$ olarak alınmaktadır.

5. Adım: Gri İlişkisel Derecenin Belirlenmesi

İlişki derecesini bulmadan önce, aşağıdaki formüllerde kullanılmak üzere karar faktörlerinin nispi ağırlığına karar verilir;

$$r(X_i, X_j) = \sum_{k=1}^n \beta_k \gamma(X_i(k), X_j(k))$$

Burada β_k faktörlerin ağırlık katsayısı ve $\sum_{k=1}^n \beta_k = 1$ 'dir.

Eğer tüm faktörler eşit derecede önemliyse, yukarıdaki formül aşağıdaki şekilde değiştirilebilir:

$$r(X_i, X_j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(X_i(k), X_j(k))$$

Formüldeki n, karar faktörlerinin sayısıdır.

Geleneksel HTEA olasılık, tespit edilebilirlik ve şiddeti gerçek dünyaya uygun olarak atamayabilir. Gri teorisinin HTEA'ya uygulanması mühendislerin, araştırma ve üretim stratejilerine dayanan karar faktörlerine göreceli önem vermesini sağlamaktadır.

6. Adım: Risk Önceliğinin Sıralanması

Standart seriler ve karşılaştırmalı seriler arasındaki ilişki derecesine bağlı olarak, ilişkiyel seri oluşturulabilir. Eğer $\gamma(X_0, X_i) \geq \gamma(X_0, X_j)$ ise, X_i ve X_0 arasındaki ilişkinin derecesi X_j ve X_0 arasındaki ilişkinin derecesinden daha büyük olduğu söylenebilir. Bu durum HTEA için potansiyel nedenlerin puanları ile karar faktörlerinin optimal değerleri arasındaki ilişkiyi ifade eder. İlişki derecesi ne kadar yüksek olursa, nedenin etkisi o kadar az olur. Bu nedenle, ilişki derecesinin artan sırası, iyileştirilmesi gereken potansiyel nedenlerin risk önceliğini temsil etmektedir.

2.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.2.1. Ulusal Çalışmalar

Dünya'daki ve Türkiye'deki işletmeler, çeşitli teknikler ve metotlar kullanarak meydana gelen hata ve hata türlerini gidermeye çalışmışlardır. Ancak, meydana gelen hata ve hata türleri hakkındaki kısmi bilgi karar vermeyi zorlaştırmaktadır. Bu zorluğun giderilmesi ve karar vermeyi kolaylaştırmak için geliştirilen yöntemlerden biri de GİA'dır. Son yıllarda Türkiye'de yapılan araştırmalarda GİA'nın kullanımının arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Bunun sonucu, yapılan araştırmalarda genel olarak, önceliklendirmenin daha sağlıklı olduğu ve karar vermenin kolaylaştığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sofyalıoğlu (2011), Türkiye'de havlu radyatörleri üretimi yapan bir işletmeden alınan verileri kullanarak gerçekleştirdiği çalışma kapsamında klasik HTEA yöntemi ile hesapladığı RÖS'ü, gri ilişki analizi yaklaşımı ile tekrar hesaplamıştır. Bu çalışmanın temel amacı klasik HTEA yöntemine yapılan eleştiriler için önerilen GİA'nın uygulanabilirliğini test etmektir. Çalışma bulgularına göre, HTEA'nın zayıf yanları hem

klasik uygulamada hem de GİA kullanılarak yapılan uygulamada ortaya çıkmıştır. Klasik HTEA yöntemine GİA uygulamanın en büyük katkısı karar faktörlerine farklı ağırlıklar verilebilmesidir. Karar faktörlerine eşit ağırlık verilerek uygulanan GİA sonuçlarının klasik HTEA sonuçlarına göre farklılık göstermesinin yanı sıra farklı ağırlıklar verilerek uygulanan GİA yaklaşımı da klasik yöntemin zayıf noktalarına önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir.

Sofyalıoğlu ve Öztürk (2012), yaptıkları araştırmada Türkiye’de radyatör üreten bir firmada karşılaşılan hata türlerini önceliklendirmek için kullanılabilecek üç farklı yöntemi karşılaştırmıştır. Bu yöntemler sırası ile; geleneksel HTEA risk öncelik sıralaması, GİA ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) yöntemlerinin birlikte uygulanmasıdır. Elde edilen sonuçlara göre GİA ve bulanık AHP birlikte uygulandığında oluşan önceliklendirme sıralamasının, ağırlıkların eşit olduğu varsayımına dayanan önceliklendirme sıralamana göre farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu yöntemin, geleneksel yaklaşımın bazı eksik kalan yönlerini giderebildiği için, öncelikli hata türlerini saptamada etkili bir yöntem olduğu öne sürülmüştür.

Turgut (2013), otomotiv sektörü imalatında bulanık mantık GİA yöntemini HTEA ile birleştiren bir çalışma yapmıştır. Uygulama aşamasında otomotiv sektöründe en çok meydana gelen altı adet hata türü, GİA ve HTEA birlikte kullanılarak önceliklendirilmiştir. Bu yöntem, klasik yöntemle göre daha fazla avantaj sağladığı ve daha kullanışlı olduğu için seçilmiştir. Analizin avantajlarını daha iyi kavrayabilmek için aynı hatalar geleneksel HTEA’ya da uygulanarak önceliklendirilmiştir. Daha sonra çalışmada hangi hata türünün iyileştirilmesinin, analiz sonuçları üzerinde daha etkili olduğunu tespit edebilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Akpınar (2015), yaptığı çalışmada geleneksel HTEA’nın eksikliklerini ortadan kaldırmak için GİA ile bütünleştirmiştir. Yapılan çalışmada otomotiv montaj hattında karşılaşılan hata ve hata türlerinin GİA ve HTEA yöntemlerini birlikte kullanarak önceliklendirme çalışması yapılmıştır. İlk olarak hata ve hata türlerine geleneksel HTEA kullanılarak önceliklendirme çalışması yapılmış ve daha sonra GİA uygulanmıştır. Sonuç olarak sıralama ve önem sonuçları değişmiştir. Elde edilen sonuçlara göre önleyici ve düzeltici faaliyetler belirtilmiş, Gri RÖS’e göre önceliklendirme yapılmış ve bu

önceliklere göre hata ve hata türleri üzerine çalışılmıştır. Önleyici ve düzeltici faaliyetler başlatılmış ve bu faaliyetlerin sonucunda kayda değer iyileştirmeler sağlanmıştır.

Kurşun vd. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada buğday eleme makinelerinin üretiminde ortaya çıkan hataların tespit edilip önceliklendirilmesi ve alınması gereken önlemlerin belirlenmesi için klasik HTEA ve GİA ile bütünleştirilmiş HTEA yaklaşımları uygulanarak yaklaşımların etkinliği değerlendirilmiştir. Bunun için ilk olarak klasik HTEA ile RÖS hesaplanmış ve önceliklendirilmiş, daha sonra ise GİA ile bütünleştirilmiş HTEA yaklaşımıyla risk faktörlerinin eşit ağırlığa ve farklı ağırlıklara sahip olduğu varsayımıyla iki ayrı gri RÖS hesaplanarak hataların önceliklendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonunda hesaplan üç ayrı RÖS değerleri birbiri ile karşılaştırılmış ve buna göre hataların müşteriye ulaşmaması için gereken iyileştirmeler tavsiye edilmiş; gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

Ayaz ve Testik (2017), bilgisayar sunucularındaki hata türlerini ve etkilerini tanımlamak, tespit etmek amacıyla GİA ve HTEA'yı birlikte uygulamıştır. Bir hata türü diğer hata türlerini etkileyebildiğinden, birbiri ile ilişkili hata türlerini belirlemek için ilişkilendirme analizi kullanılmıştır. Bu çalışma, bilgisayar sunucularındaki hatalar için HTEA sürecinin otomasyonuna odaklanılmış ve risk önceliklendirilmesi yapılmıştır. Yöntemin uygulanmasında bir bilgisayar sunucusu log verilerinden 268 hata elde edilmiş ve en önemli hata türleri otomatik, nesnel ve doğru bir şekilde belirlenmiş ve önceliklendirilmiştir.

Ünlükal vd. (2018), yaptıkları uygulamada, bir plastik enjeksiyon imalat işletmesinde üretim sürecinde ortaya çıkabilecek riskleri, geleneksel HTEA ve GİA ile değerlendirmeyi amaçlamışlardır. HTEA, bir işlemdeki hata risklerini tanımlamaya ve azaltmaya yardımcı olan yaygın olarak kullanılan bir analitik teknik olmasına rağmen, farklı risklerin aynı risk öncelik değerlerine ve risk ağırlığına sahip olabileceğinin bazı dezavantajlarına sahip olduğu düşüncesi ile HTEA'ya GİA'yı entegre ederek ortadan kaldırılmaya çalışılmışlardır. Sonuç olarak, tespit edilen hataların risk öncelikli değer sırasının her iki yönteme göre de değiştiği saptanmıştır.

2.2.2. Uluslararası Çalışmalar

Chang vd. (2001), yaptıkları araştırmada HTEA ile gri teori yaklaşımını otomobil kontrol sistemi için baskılı devre kartı takma potansiyel hatalarını bulmak için uygulamışlardır. Risk faktörlerinin dereceleri dikkate alınarak RÖS değerleri hesaplanmış ve daha sonra gri teoriye göre tekrar hesaplanarak, ortaya çıkan değerleri geleneksel HTEA uygulamasının sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Yang ve Liu (2010), yaptıkları araştırmada, inşaat firmaları için yazılım risk indeksi sistemini temel alarak risk faktörlerinin nicel analizini HTEA yöntemini, GİA ve 6 Sigma kullanarak değerlendirmiş ve sıralamışlardır. Uygulamada yazılım risk değerlendirmesi örnekleri analiz edilerek, burada tasarlanan model ve yöntemin doğruluğu ve etkinliği kanıtlanmaya çalışılmıştır. Yazılımın niteliklerini etkileyen her aşamada ölçülebilir zaman ve maliyet değerleri, geliştirilecek yazılımlar, geliştirme ortamları (platformlar ve geliştirme araçları), proje yönetimi yöntemleri ve ilgili entegrasyonun sonuçları değerlendirilmiştir.

Geum vd. (2011), servis anında karşılan hatalar için hizmet HTEA ve GİA yöntemlerini birlikte uygulamışlardır. İlk aşamada hizmet HTEA ile karşılan hataları 3 ana başlık ve 19 alt başlık altında toplamışlardır. İkinci aşamada, birbiriyle ilişkili bu hatalar altında esnek bir değerlendirme çerçevesinin gerekliliklerini ele almak için her hata türü RÖS'lerini hesaplamada GİA kullanmışlardır. Araştırmanın sonuncunda öncelikle hataya elverişli olma durumunun hatanın gözle görülebilir olup olmadığına bağlı olduğunu ancak bununla birlikte, her zaman görünür bir alandaki (ön büro) hatanın görünmeyen bir alandakine göre (arka ofis) daha riskli olduğunun söylenemeyeceği tespit edilmiştir.

Rahimi vd. (2013), tarafından sağlık hizmetinde yapılan araştırmada bulanık maliyete dayalı HTEA, GİA ve Karlılık Teorisi birlikte uygulanarak meydana gelen hataların azaltılması amaçlanmıştır. İlk olarak uzmanlar yardımıyla RÖS değerleri belirlenmiş ve maliyetler saptanmıştır. Ardından her hata türü GİA ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, önceliklendirme yapılmış, düzeltici faaliyetler önerilmiş ve maliyetlerin azaltılması sağlanmıştır.

Zhou ve Thai (2015), petrol tankeri ekipman hatalarını incelemişlerdir. Bu çalışmada yöntem olarak bulanık ve gri HTEA yöntemini seçmişler ve geleneksel HTEA ile karşılaştırıldığında, önerilen yöntemin risk değerlendirmesi için daha kullanışlı, pratik,

etkili ve esnek olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, yapılan tanker ekipmanı hata türleri RÖS sıralamasının hem gri teori hem de bulanık teori sıralamaları hemen hemen aynı belirlenmiş ve bulanık yaklaşım ile gri teorisi arasında sonuçları açısından sadece iki hata türünün sıralamasının değıştiğı saptanmıştır.

Silva vd. (2016), HTEA ve Gri teori yardımıyla büyük verilerin risk yönetimi hakkında araştırma yapmışlar ve 20 hata türü tespit etmişlerdir. Bu araştırmanın, araştırmacılar için uygun büyük veri riski tekniklerinin analizinde ve mevcut çözümlerin yetersizliğinin giderilmesinde bir rehber olarak katkıda bulunduğunu savunmuşlardır. Bu risk modelinin, hatayı ve riskleri tespit edebileceğini ve mağdurun bu tür bir saldırı olduğunda nasıl tepki vereceğine karar vermesine yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir.

Chiu vd. (2017), hazır giyim sanayii üzerine yaptıkları olay çalışmasında sistematik ve eksiksiz ürün servis sistemi stratejisi geliştirmek için bir metodoloji sunmaktadırlar. Potansiyel müşteri ihtiyaçlarını belirlemek için HTEA ile önem performans analizini birleştirmişlerdir. Çalışmada bir hizmet veya ürün geliştirme matrisi ve bir ürün veya hizmet yaşam döngüsü analizi geliştirilmiştir. Servis konseptlerinin oluşturulmasını takiben alternatifleri değerlendirmek için GİA ve senaryo analizleri kullanılmış ve toplam 30 adet ürün servis sistemi senaryosuna, 25 servis sağlayıcı ve 18 servis dışı hata türünü çözmek için tasarlanan 26 servis konsepti entegre etmişlerdir. Önerilen yöntem, tasarımcıların mevcut hatalara dayalı entegre çözümler üretmesine yardımcı olamayacağını fakat farklı senaryoların değerlendirilmesine ve karşılaştırmaların yapılmasına yardımcı olabileceğini göstermiştir.

Panchal ve Srivastava (2019), tarafından yapılan çalışmada, farklı risk analizi yaklaşımları gözden geçirilmiş ve sıkıştırılmış doğal gaz dağıtım sisteminin kalitatif analizi için bulanık bütünleşik çok kriterli karar verme yöntemi uygulanmıştır. Sistemin kalitatif analizi, risk tanımlaması ve önceliklendirmesidir. Bu analiz, sırasıyla HTEA, bulanık HTEA ve bulanık GİA bütünleşik yaklaşımını örnekleyerek yapılmıştır. Geleneksel HTEA'da RÖS önceliklendirilmiş ve analizdeki belirsizlik sorunu, bulanık metodolojinin geleneksel teknikle bütünleştirilmesiyle giderilmiştir. Toplam 43 risk tespit edilmiş ve yedi tanesi sistem için kritik olarak değerlendirilmiştir. Bu yedi kritik risk; regülatörde ölçüm kızıağı arızası, kompresörün iç sızıntısı, dağıtıcının ana kart arızası, iç boru sızıntısı, öncelikli panelin havadan boğulması ve kaskadın tıkanması

olarak belirlenmiştir. Araştırmanın sonucunda, bakım mühendisi ve sistem analistinin risk değerlendirmesi ve etkili bakım politikası yapması gerektiği belirtilmiştir.

Ulusal ve uluslararası çalışmaların özeti Tablo 2.1.' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Ulusal ve Uluslararası Çalışmalar

YAZAR(LAR)	YIL	HTEA*	GİA**	SEKTÖR
Chang vd.	2001	Evet	Evet	Otomotiv
Yang ve Liu	2010	Evet	Evet	Yazılım
Sofyaloğlu	2011	Evet	Evet	Radyatör Üretimi
Geum vd.	2011	Evet	Evet	Hizmet
Sofyaloğlu ve Öztürk	2012	Evet	Evet	Radyatör Üretimi
Turgut	2013	Evet	Evet	Otomotiv
Rahimi vd.	2013	Evet	Evet	Sağlık
Zhou ve Thai	2015	Evet	Evet	Tanker Ekipmanları
Akpınar	2015	Evet	Evet	Otomotiv
Kurşun vd.	2016	Evet	Evet	Buğday Eleme Makineleri
Silva vd.	2016	Evet	Evet	Risk Yönetimi
Chiu vd.	2017	Evet	Evet	Hazır Giyim Sanayi
Ayaz ve Testik	2017	Evet	Evet	Bilgisayar
Ünlükal vd.	2018	Evet	Evet	Plastik Enjeksiyon İmalat
Panchal ve Srivastava	2019	Evet	Evet	Doğalgaz

* Araştırmada HTEA kullanılmıştır.

** Araştırmada GİA kullanılmıştır.

Günümüzde, HTEA VE GİA tekniklerinin uygulama alanları Tablo 2.1.'de gösterildiği gibi otomotiv ve üretim sanayii başta olmak üzere oldukça yarıdır.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

**HTEA VE GİA'IN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ VE GÜBRE ÜRETİMİ YAPAN BİR
İŞLETMEDE UYGULAMA**

3.1. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Bu çalışmada, günümüzde işletmelerin karşılaştıkları sorunların çözümünde ve gerekli önlemlerin alınmasında bir mühendislik uygulaması olan HTEA ile eksik veya tamamlanmamış bilgiler altındaki belirsizlik problemlerinde yaygın kullanılan GİA konu edinilmiştir. Dünyada ve ülkemizde hızla büyüyen bir işkolu olan gübre üretim sürecinde meydana gelen ve meydana gelmesi olası hata türlerinin belirlenmesine ve devamında engellenmesine de katkı sağlanacağı düşüncesiyle yola çıkılmıştır.

HTEA, müşteri ihtiyaç ve gereksinimlerine olumlu bir yaklaşım sağlayan, sistematik bir analiz tekniği olup sezgilere dayanmaktadır. Bu sezgisel yaklaşımın belirsizlik durumunu oluşturması HTEA’da bazı eksikliklere ve kısıtlamalara neden olmaktadır. HTEA’ya ilişkin bu eleştirilere yönelik önerilen GİA’nın uygulanabilirliğini sınamak çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bunun yanında HTEA’nın GİA yardımıyla kısıtlamalarını ortadan kaldırmak ve veriler arasındaki karşılaştırmaların daha etkin yapılması hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen uygulama ile gelişmiş bir hata analizi ve hata önleme çalışmasının işletmede etkin şekilde kullanılıp uygulanabilmesini sağlamak bir diğer amacı oluşturmaktadır.

Küreselleşme ile birlikte artan rekabet ortamında işletmeler, devamlılığı sağlamak ve karlılığı arttırmak için müşterilerini memnun etmek adına ürettikleri ürün ya da hizmetin hatasız ve sorunsuz olmasını hedeflenmektedirler. Bu amaca yönelik olarak Dünya’da ve Türkiye’de HTEA ve GİA’nın birlikte uygulandığı araştırma ve işletme uygulamalarının önemli ölçüde başarı olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda gübre üretimi yapan bir işletmenin üretim sürecini kapsayan bu çalışma; hata türlerinin belirlenmesi, önceliklendirilmesi ve hata nedenleri ile ilişkilerinin tespit edilmesi yönüyle işletme açısından önem taşımaktadır. Bunun yanında çalışmanın, ürünlerin ve üretim sürecinin kalitesinin artırılmasına ve hata türlerine ilişkin gerekli önlemlerin alınmasına katkı sağlayacağı ve faydalı olacağı düşünülmektedir.

3.2. ARAŞTIRMANIN VARSAYIM VE KISITLARI

Araştırmada, Antalya Organize Sanayi Bölgesi’nde faaliyet gösteren Vita Tarım işletmesini kapsamakta ve üretim sürecinde karşılaşılan hata türleri ile sınırlandırılmaktadır. VitaTarım’ın ürettiği toplam 60 farklı ürün, sıvı ve toz gübre olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Bu çalışmada, toz gübre olarak Toz NPK 20-10-20 dengeli

gübre, sıvı gübre olarak NPK 8-8-8 dengeli gübre ele alınmış; araştırma bu 2 ürün ile kısıtlanmıştır.

Araştırmada veriler; Kimyager, Üretim Sorumlu ve Ziraat Mühendisi'nden oluşan bir gruba dağıtılan HTEA Formu aracılığıyla elde edilmiştir. HTEA formundaki bilgilerin grup üyeleri tarafından doğru olarak elde edildiği varsayılmaktadır.

3.3. UYGULAMA

HTEA günümüzde işletmelerin karşılaştıkları sorunların çözümünde ve gerekli önlemlerin alınması konusunda oldukça sık kullanılan bir mühendislik uygulamasıdır. Pek çok alanda kullanılan HTEA bu çalışmada, üretim sürecinde meydana gelen ve meydana gelmesi olası hata türlerinin belirlenmesi ve sonrasında engellenmesinde etkili olacağı düşüncesiyle ele alınmıştır. Bu doğrultuda gübre üretimi yapan bir işletmede çalışan Ziraat Mühendisi, Kimyager ve Üretim Sorumlusundan oluşan uzman bir HTEA Takımı oluşturulmuş, gerekli veriler toplanmıştır. HTEA'nin temelini oluşturan risk öncelik sayılarının hesaplanmasının yanında; GİA yöntemi ile hatalara yönelik ayrı bir risk önceliklendirilmesi yapılmış; HTEA'nin eksik yönleri ve kısıtlamaları GİA yardımı ile ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. GİA sonucu belirlenen hata türleri ile bu hata türlerinin nedenleri arasındaki ilişkiler Uyum analizi ile iki boyutlu bir uzayda oluşturulan grafikler yardımıyla saptanmaya çalışılmıştır. Uygulamanın yapıldığı işletme Vita Tarım'ın ürettiği Toz NPK 20-10-20 dengeli gübre ve Sıvı NPK 8-8-8 dengeli gübresinin üretim sürecinde gerçekleşen en önemli hatalar ve bu hataların ilişkili olduğu nedenlerin belirlenmesinden sonra sonuç kısmında gerekli tavsiyeler verilmiştir. Bunun işletme açısından, ürünlerin ve üretim sürecinin kalitesinin artırılmasına ve hata türlerine ilişkin gerekli önlemlerin alınmasına katkı sağlayacağı ve faydalı olacağı düşünülmektedir.

3.3.1. İşletme Tanıtımı

Vita Tarım 2010 yılında Türkiye'nin en verimli tarım alanlarının başında gelen Antalya Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulmuştur. Üretim verimliliği ve ürün kalitesini arttırma amacı taşıyan işletmenin fabrikası Avrupa Standartları'na uygun dizayn edilmiş, makine parkurları ve depoları ile her yıl büyüyerek Avrupa standartlarında üretim yapmaktadır. Türkiye'nin en büyük gübre üreticisinden biri konumunda olup; pek çok ülkeye ihracat yapmaktadır. İşletmede toplam 32 kişi çalışmaktadır ve yıllık 1.000.000 litre sıvı gübre, 700.000 ton toz gübre üretilmektedir.

3.3.2. HTEA'nın Uygulanması

HTEA tekniği, işletmedeki uzman HTEA takımından elde edilen veriler ile Toz NPK 20-10-20 ve Sıvı NPK 8-8-8 dengeli gübre türleri olmak üzere iki ayrı ürün üzerinde uygulanmıştır. İlk olarak Tablo 3.1.'de gösterildiği gibi Toz NPK 20-10-20 üretim sürecinde 17 hata türü tespit edilmiş ve HTEA Takımı tarafından atanan olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik değerleri ile RÖS hesaplanmıştır. Önceliklendirme sonucunda; en önemli beş hata türü Gramaj hatası, Deponun aşırı sıcak ve nemli olması, Jelaton ve Anhidrat maddelerinin kullanılmaması, Yanlış ambalajlara konulma hatası ve Ürünü bayilere taşıırken oluşan hatalar en önemli hatalar olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.1. Toz NPK 20-10-20 HTEA Önceliklendirme Tablosu

PROSES ADI:	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	Ş	O	T	RÖS	Hata Türleri'ni RÖS'e göre Önceliklendirmesi
Tartım	Hata Türü 1 (Tartımın yanlış yapılması)	9	2	6	108	10
Harmanlama	Hata Türü 2 (Karıştırma işleminin uzaması)	9	3	4	81	13
Harmanlama	Hata Türü 3 (Hammaddenin harmanlamada nemlenmesi)	8	6	2	96	11
Harmanlama	Hata Türü 4 (Harmanlama ünitesinin devrinin yüksek olması)	7	3	4	84	12
Harmanlama	Hata Türü 5 (Harmanlama ünitesinin devrinin düşük olması)	8	4	4	128	9
Harmanlama	Hata Türü 6 (Jelaton ve Anhidrat maddelerinin kullanılmaması)	8	5	4	160	3
Eleme	Hata Türü 7 (Toz taneciklerin uygun boyuta gelmemesi)	8	5	2	80	14
Paketleme	Hata Türü 8 (Gramaj hatası)	8	5	5	200	1

Tablo 3.1. (devam) Toz NPK 20-10-20 HTEA Önceliklendirme Tablosu

PROSES ADI:	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	Ş	O	T	RÖS	Hata Türleri'ni RÖS'e göre Önceliklendirmesi
Paketleme	Hata Türü 9 (Paketleme haznesinin tıkanması)	8	4	2	64	15
Paketleme	Hata Türü 10 (Çuvallarda dikiş hatası)	7	5	4	140	7
Paketleme	Hata Türü 11 (Plastik çuval kullanım hatası)	6	6	4	144	6
Paketleme	Hata Türü 12 (Yanlış ambalaja konulma hatası)	10	3	5	150	4
Paketleme	Hata Türü 13 (Ürünlerde kodlama hatası)	9	3	5	135	8
Depolama	Hata Türü 14 (Deponun aşırı sıcak ve nemli olması)	7	6	4	168	2
Sevkiyat	Hata Türü 15 (Eksiz ya da fazla sayıda ürün gönderimi)	9	3	2	54	16
Sevkiyat	Hata Türü 16 (Yanlış ürün gönderimi)	9	2	2	36	17
Sevkiyat	Hata Türü 17 (Ürünü bayilere taşıırken oluşan hatalar)	7	7	3	147	5

Tablo 3.1. incelendiğinde en yüksek RÖS değerine sahip Hata Türü 8 (Gramaj hatası)'e Paketleme bölümünde, en düşük RÖS değerine sahip Hata Türü 16 (Yanlış ürün gönderimi)'ya Sevkiyat bölümünde rastlandığı görülmüştür.

Sıvı NPK 8-8-8 sürecinde belirlenen 18 hata türü ve HTEA takımı değerlendirmeleri ile saptanan RÖS değerleri Tablo 3.2.'de gösterilmektedir. Önceliklendirme sonucunda; bu ürün için en önemli beş hata türü Ventiltsiz kapak hatası, Çok farklı Phlı hammaddelerin bir arada çözündürülmesi, Fazla sıcaklık etkisi ile suyun buharlaşması, Koruyucu alüminyumun yapışmaması ve Karıştırma devrinin düşük olması şeklinde ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.2. Sıvı NPK 8-8-8 HTEA Önceliklendirme Tablosu

PROSES ADI:	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	Ş	O	T	RÖS	Hata Türleri'ni RÖS'e göre Önceliklendirmesi
Tartım	Hata Türü 1 (Tartımın yanlış yapılması)	9	2	6	108	12
Karıştırma	Hata Türü 2 (Çok farklı Phlı hammaddelerin bir arada çözündürülmesi)	9	4	5	180	2
Karıştırma	Hata Türü 3 (Çökelti oluşumu)	8	2	7	112	11
Karıştırma	Hata Türü 4 (Fazla sıcaklık etkisi ile suyun buharlaşması)	9	3	6	162	3
Karıştırma	Hata Türü 5 (Reaksiyon sebebiyle hammaddenin kendi özelliğini yitirmesi)	8	4	4	128	9
Karıştırma	Hata Türü 6 (Tankın sızdırması)	8	5	2	80	14
Karıştırma	Hata Türü 7 (Karıştırma devrinin düşük olması)	7	7	3	147	5
Karıştırma	Hata Türü 8 (Azot, fosfor, potasyum sırasının yanlış yapılması)	8	2	4	64	15
Dinlendirme	Hata Türü 9 (Dinlenmeden dolum yapılması)	7	5	4	140	7
Dolum ve Paketleme	Hata Türü 10 (Dolumun düşük yapılması)	8	5	3	120	10
Dolum ve Paketleme	Hata Türü 11 (Koruyucu alüminyumun yapışmaması)	6	5	5	150	4
Dolum ve Paketleme	Hata Türü 12 (Ventilsiz kapak hatası)	9	6	4	216	1
Dolum ve Paketleme	Hata Türü 13 (Bidonun delinmesi. Sızdırma. Müşteri memnuniyetsizliği)	7	3	3	63	16
Depolama	Hata Türü 14 (Deponun soğuk olması)	8	4	3	96	13

Tablo 3.2. (devam) Sıvı NPK 8-8-8 HTEA Önceliklendirme Tablosu

PROSES ADI:	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	Ş	O	T	RÖS	Hata Türleri'ni RÖS'e göre Önceliklendirmesi
Depolama	Hata Türü 15 (Depolanan ürünlerin güneşte kalması)	9	5	3	135	8
Sevkiyat	Hata Türü 16 (Eksiz ya da fazla sayıda ürün gönderimi)	9	3	2	54	17
Sevkiyat	Hata Türü 17 (Yanlış ürün gönderimi)	9	2	2	36	18
Sevkiyat	Hata Türü 18 (Ürünü bayilere taşıırken oluşan hatalar)	7	7	3	147	6

Tablo 3.2. incelendiğinde en yüksek RÖS değerine sahip Hata Türü 12 (Ventilsiz kapak kullanımı)'nin Dolum ve Paketleme bölümünde, en düşük RÖS değerine sahip Hata Türü 17 (Yanlış ürün gönderimi)'nin Sevkiyat bölümünde gerçekleştiği görülmüştür.

3.3.3. HTEA ve GİA'in Birlikte Uygulanması ve Sonuçları

HTEA ve GİA, Toz NPK 20-10-20 için Tablo 3.1.'de yer alan verileri ve Sıvı NPK 8-8-8 için Tablo 3.2.'de yer alan verileri kullanarak uygulanmıştır. GİA, HTEA tekniğinin iki farklı varsayımı açısından (risk faktörlerinin eşit ağırlıklara ve risk faktörlerinin farklı ağırlıklara sahip olması) ele alınmıştır.

Toz NPK 20-10-20 için Uygulama

1. Adım: GİA'de karşılaştırmalı serilerin belirlenmesi için, Tablo 3.1.'de yer alan hata türlerinin şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik derecelerini kullanarak bilgi serisi matrisi aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & X_1(3) \\ X_2(1) & X_2(2) & X_2(3) \\ X_3(1) & X_3(2) & X_3(3) \\ X_4(1) & X_4(2) & X_4(3) \\ X_5(1) & X_5(2) & X_5(3) \\ X_6(1) & X_6(2) & X_6(3) \\ X_7(1) & X_7(2) & X_7(3) \\ X_8(1) & X_8(2) & X_8(3) \\ X_9(1) & X_9(2) & X_9(3) \\ X_{10}(1) & X_{10}(2) & X_{10}(3) \\ X_{11}(1) & X_{11}(2) & X_{11}(3) \\ X_{12}(1) & X_{12}(2) & X_{12}(3) \\ X_{13}(1) & X_{13}(2) & X_{13}(3) \\ X_{14}(1) & X_{14}(2) & X_{14}(3) \\ X_{15}(1) & X_{15}(2) & X_{15}(3) \\ X_{16}(1) & X_{16}(2) & X_{16}(3) \\ X_{17}(1) & X_{17}(2) & X_{17}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9 & 2 & 6 \\ 9 & 3 & 4 \\ 8 & 6 & 2 \\ 7 & 3 & 4 \\ 8 & 4 & 4 \\ 8 & 5 & 4 \\ 8 & 5 & 2 \\ 8 & 5 & 5 \\ 8 & 4 & 2 \\ 7 & 5 & 4 \\ 6 & 6 & 4 \\ 10 & 3 & 5 \\ 9 & 3 & 5 \\ 7 & 6 & 4 \\ 9 & 3 & 2 \\ 9 & 2 & 2 \\ 7 & 7 & 3 \end{bmatrix} \quad (I)$$

2. Adım: $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(1)\}$ olarak tanımlanan standart seri daha küçük riski ifade edecek biçimde, $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(3)\}$ olarak belirlenmiştir.

3. Adım: (II)' de gösterildiği gibi gri ilişki katsayılarını hesaplamak üzere karar faktör puanları ve standart seri arasındaki farklar alınmış ve fark matrisi elde edilmiştir.

$$D_0 = \begin{bmatrix} \Delta_1(1) & \Delta_1(2) & \Delta_1(3) \\ \Delta_2(1) & \Delta_2(2) & \Delta_2(3) \\ \Delta_3(1) & \Delta_3(2) & \Delta_3(3) \\ \Delta_4(1) & \Delta_4(2) & \Delta_4(3) \\ \Delta_5(1) & \Delta_5(2) & \Delta_5(3) \\ \Delta_6(1) & \Delta_6(2) & \Delta_6(3) \\ \Delta_7(1) & \Delta_7(2) & \Delta_7(3) \\ \Delta_8(1) & \Delta_8(2) & \Delta_8(3) \\ \Delta_9(1) & \Delta_9(2) & \Delta_9(3) \\ \Delta_{10}(1) & \Delta_{10}(2) & \Delta_{10}(3) \\ \Delta_{11}(1) & \Delta_{11}(2) & \Delta_{11}(3) \\ \Delta_{12}(1) & \Delta_{12}(2) & \Delta_{12}(3) \\ \Delta_{13}(1) & \Delta_{13}(2) & \Delta_{13}(3) \\ \Delta_{14}(1) & \Delta_{14}(2) & \Delta_{14}(3) \\ \Delta_{15}(1) & \Delta_{15}(2) & \Delta_{15}(3) \\ \Delta_{16}(1) & \Delta_{16}(2) & \Delta_{16}(3) \\ \Delta_{17}(1) & \Delta_{17}(2) & \Delta_{17}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 & 1 & 5 \\ 8 & 2 & 3 \\ 7 & 5 & 1 \\ 6 & 2 & 3 \\ 7 & 3 & 3 \\ 7 & 4 & 3 \\ 7 & 4 & 1 \\ 7 & 4 & 4 \\ 7 & 3 & 1 \\ 6 & 4 & 3 \\ 8 & 5 & 3 \\ 9 & 2 & 4 \\ 8 & 2 & 4 \\ 6 & 5 & 3 \\ 8 & 2 & 1 \\ 8 & 1 & 1 \\ 6 & 6 & 2 \end{bmatrix} \quad (II)$$

4. Adım: Bu aşamada elde edilen Fark matrisi $\Delta_{min} = 1$ $\Delta_{max} = 9$ olarak hesaplanmıştır.

5. Adım: Belirleyicilik katsayısı (ζ) ise 0,5 olarak alınmıştır.

$$\begin{bmatrix} \gamma_1(1) & \gamma_1(2) & \gamma_1(3) \\ \gamma_2(1) & \gamma_2(2) & \gamma_2(3) \\ \gamma_3(1) & \gamma_3(2) & \gamma_3(3) \\ \gamma_4(1) & \gamma_4(2) & \gamma_4(3) \\ \gamma_5(1) & \gamma_5(2) & \gamma_5(3) \\ \gamma_6(1) & \gamma_6(2) & \gamma_6(3) \\ \gamma_7(1) & \gamma_7(2) & \gamma_7(3) \\ \gamma_8(1) & \gamma_8(2) & \gamma_8(3) \\ \gamma_9(1) & \gamma_9(2) & \gamma_9(3) \\ \gamma_{10}(1) & \gamma_{10}(2) & \gamma_{10}(3) \\ \gamma_{11}(1) & \gamma_{11}(2) & \gamma_{11}(3) \\ \gamma_{12}(1) & \gamma_{12}(2) & \gamma_{12}(3) \\ \gamma_{13}(1) & \gamma_{13}(2) & \gamma_{13}(3) \\ \gamma_{14}(1) & \gamma_{14}(2) & \gamma_{14}(3) \\ \gamma_{15}(1) & \gamma_{15}(2) & \gamma_{15}(3) \\ \gamma_{16}(1) & \gamma_{16}(2) & \gamma_{16}(3) \\ \gamma_{17}(1) & \gamma_{17}(2) & \gamma_{17}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,76 & 1 & 0,47 \\ 0,76 & 0,80 & 0,60 \\ 0,83 & 0,50 & 1 \\ 0,90 & 0,80 & 0,64 \\ 0,83 & 0,67 & 0,64 \\ 0,83 & 0,57 & 0,64 \\ 0,83 & 0,57 & 1 \\ 0,83 & 0,57 & 0,54 \\ 0,83 & 0,67 & 1 \\ 0,90 & 0,57 & 0,64 \\ 1 & 0,50 & 0,64 \\ 0,70 & 0,8 & 0,54 \\ 0,76 & 0,80 & 0,54 \\ 0,90 & 0,50 & 0,64 \\ 0,76 & 0,80 & 1 \\ 0,76 & 1 & 1 \\ 0,90 & 0,44 & 0,78 \end{bmatrix} \quad (III)$$

6. Adım: (III)'de gösterildiği gibi gri ilişki derecesi her hata türüne göre hesaplanmış, risk önceliklendirilmesi yapılmıştır. Daha sonra her üç risk faktörünün eşit ağırlığa sahip olduğu varsayılarak; gri ilişki dereceleri denklem (IV)'in yardımı ile Hata Türü 1 için hesaplanmıştır.

$$\tau_{01}(1) = \frac{1}{3} [\gamma_{01}(1) + \gamma_{01}(2) + \gamma_{01}(3)] = \frac{1}{3} [0,76 + 1 + 0,47] = 0,74 \quad (IV)$$

Daha sonra şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik derecelerinin hatanın türüne göre önemliliklerinin değişebileceği düşünülerek, $\sum_{k=1}^n W_k = 1$ olacak biçimde, hatanın şiddeti, olasılığı ve tespit edilebilirliğine yönelik ağırlık katsayıları sırayla;

$W_{\text{ş}} = 0,3$; $W_o = 0,3$ ve $W_T = 0,4$ şeklinde belirlenmiştir. (III)'deki gri ilişki dereceleri farklı ağırlıklı olarak hesaplanmıştır. Hata Türü 1 için hesaplama (V)'de gösterilmiştir.

$$\tau_{01} = 0,76 * 0,50 + 1 * 0,26 + 0,47 * 0,24 = 0,76 \quad (V)$$

Elde edilen; HTEA RÖS, GİA Eşit Ağırlık RÖS ve GİA Farklı Ağırlık RÖS değerleri ve sıralamaları Tablo 3.3.'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.3. HTEA, Eşit ve Farklı Ağırlıklı GİA Karşılaştırması

HATA TÜRÜ	HTEA RÖS	HTEA RÖS İÇİN ÖNCELİK SIRASI	GİA EŞİT AĞIRLIK RÖS	GİA EŞİT AĞIRLIK İÇİN ÖNCELİK SIRASI	GİA FARKLI AĞIRLIK RÖS	GİA FARKLI AĞIRLIK İÇİN ÖNCELİK SIRASI
HT 1	108	10	0,74	11	0,76	10
HT 2	81	13	0,73	10	0,74	7
HT 3	96	11	0,78	12	0,78	11
HT 4	84	12	0,78	13	0,82	14
HT 5	128	9	0,71	8	0,74	6
HT 6	160	3	0,68	2	0,72	3
HT 7	80	14	0,80	14	0,80	13
HT 8	200	1	0,65	1	0,69	2
HT 9	64	15	0,83	15	0,82	15
HT 10	140	7	0,70	6	0,75	9
HT 11	144	6	0,71	9	0,78	12
HT 12	150	4	0,68	4	0,69	1
HT 13	135	8	0,70	5	0,72	4
HT 14	168	2	0,68	3	0,74	5
HT 15	54	16	0,85	16	0,83	16
HT 16	36	17	0,92	17	0,88	17
HT 17	147	5	0,71	7	0,75	8

Tablo 3.3. değerlendirildiğinde üç modelin uygulanması sonucu, önemi en az 3 hata türünün önceliklendirme sırasının değişmediği belirlenmiştir. Ancak iki farklı şekilde hesaplanan GİA sonuçlarının HTEA RÖS'e göre büyük oranda değiştiği görülmektedir. HT 2'nin, HTEA RÖS'e göre öncelik sırası 13, GİA Eşit Ağırlık RÖS'e göre öncelik sırası 10 ve GİA Farklı Ağırlık RÖS'e göre öncelik sırası 7 olarak bulunmuştur. HT 8; HTEA RÖS ve GİA Eşit Ağırlık RÖS'e göre 1. sıradaki en önemli hata türü iken, GİA Farklı Ağırlık RÖS'e göre 2. önemli hata türü olarak elde edilmiştir. GİA Farklı Ağırlık RÖS değerlendirmesindeki en önemli hata türü HT 12 iken; aynı hata türü HTEA RÖS ve GİA Eşit Ağırlık RÖS için 4. sıradaki önemli hata türü olmaktadır.

Sıvı NPK 8-8-8 İçin Uygulama

1. Adım: GİA’de karşılaştırmalı serilerin belirlenmesi için, Tablo 3.2.’de yer alan hata türlerinin şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik derecelerini kullanarak bilgi serisi matrisi (VI)’de gösterilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & X_1(3) \\ X_2(1) & X_2(2) & X_2(3) \\ X_3(1) & X_3(2) & X_3(3) \\ X_4(1) & X_4(2) & X_4(3) \\ X_5(1) & X_5(2) & X_5(3) \\ X_6(1) & X_6(2) & X_6(3) \\ X_7(1) & X_7(2) & X_7(3) \\ X_8(1) & X_8(2) & X_8(3) \\ X_9(1) & X_9(2) & X_9(3) \\ X_{10}(1) & X_{10}(2) & X_{10}(3) \\ X_{11}(1) & X_{11}(2) & X_{11}(3) \\ X_{12}(1) & X_{12}(2) & X_{12}(3) \\ X_{13}(1) & X_{13}(2) & X_{13}(3) \\ X_{14}(1) & X_{14}(2) & X_{14}(3) \\ X_{15}(1) & X_{15}(2) & X_{15}(3) \\ X_{16}(1) & X_{16}(2) & X_{16}(3) \\ X_{17}(1) & X_{17}(2) & X_{17}(3) \\ X_{18}(1) & X_{18}(2) & X_{18}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9 & 2 & 6 \\ 9 & 4 & 5 \\ 8 & 2 & 7 \\ 9 & 3 & 6 \\ 8 & 4 & 4 \\ 8 & 5 & 2 \\ 7 & 7 & 3 \\ 8 & 2 & 4 \\ 7 & 5 & 4 \\ 8 & 5 & 3 \\ 6 & 5 & 5 \\ 9 & 6 & 4 \\ 7 & 3 & 3 \\ 8 & 4 & 3 \\ 9 & 5 & 3 \\ 9 & 3 & 2 \\ 9 & 2 & 2 \\ 7 & 7 & 3 \end{bmatrix} \quad (VI)$$

2. Adım: $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(1)\}$ olarak tanımlanan standart seri daha küçük riski ifade edecek biçimde, $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(3)\}$ olarak belirlenmiştir.

3. Adım: (VII)' de gösterildiği gibi gri ilişki katsayılarını hesaplamak üzere karar faktör puanları ve standart seri arasındaki farklar alınmış ve fark matrisi elde edilmiştir.

$$D_0 = \begin{bmatrix} \Delta_1(1) & \Delta_1(2) & \Delta_1(3) \\ \Delta_2(1) & \Delta_2(2) & \Delta_2(3) \\ \Delta_3(1) & \Delta_3(2) & \Delta_3(3) \\ \Delta_4(1) & \Delta_4(2) & \Delta_4(3) \\ \Delta_5(1) & \Delta_5(2) & \Delta_5(3) \\ \Delta_6(1) & \Delta_6(2) & \Delta_6(3) \\ \Delta_7(1) & \Delta_7(2) & \Delta_7(3) \\ \Delta_8(1) & \Delta_8(2) & \Delta_8(3) \\ \Delta_9(1) & \Delta_9(2) & \Delta_9(3) \\ \Delta_{10}(1) & \Delta_{10}(2) & \Delta_{10}(3) \\ \Delta_{11}(1) & \Delta_{11}(2) & \Delta_{11}(3) \\ \Delta_{12}(1) & \Delta_{12}(2) & \Delta_{12}(3) \\ \Delta_{13}(1) & \Delta_{13}(2) & \Delta_{13}(3) \\ \Delta_{14}(1) & \Delta_{14}(2) & \Delta_{14}(3) \\ \Delta_{15}(1) & \Delta_{15}(2) & \Delta_{15}(3) \\ \Delta_{16}(1) & \Delta_{16}(2) & \Delta_{16}(3) \\ \Delta_{17}(1) & \Delta_{17}(2) & \Delta_{17}(3) \\ \Delta_{18}(1) & \Delta_{18}(2) & \Delta_{18}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 & 1 & 5 \\ 8 & 3 & 4 \\ 7 & 1 & 6 \\ 8 & 2 & 5 \\ 7 & 3 & 3 \\ 7 & 4 & 1 \\ 6 & 6 & 2 \\ 7 & 1 & 3 \\ 6 & 4 & 3 \\ 7 & 4 & 2 \\ 5 & 4 & 4 \\ 8 & 5 & 3 \\ 6 & 2 & 2 \\ 7 & 3 & 2 \\ 8 & 4 & 2 \\ 8 & 2 & 1 \\ 8 & 1 & 1 \\ 6 & 6 & 2 \end{bmatrix} \quad (VII)$$

4. Adım: Bu aşamada, Fark matrisi elde edilmiştir. Fark matrisi $\Delta_{min}=1$ $\Delta_{max}=8$ olarak hesaplanmıştır.

5. Adım: Belirleyicilik katsayısı (ζ) ise 0,5 olarak alınmıştır.

$$\begin{bmatrix} \gamma_1(1) & \gamma_1(2) & \gamma_1(3) \\ \gamma_2(1) & \gamma_2(2) & \gamma_2(3) \\ \gamma_3(1) & \gamma_3(2) & \gamma_3(3) \\ \gamma_4(1) & \gamma_4(2) & \gamma_4(3) \\ \gamma_5(1) & \gamma_5(2) & \gamma_5(3) \\ \gamma_6(1) & \gamma_6(2) & \gamma_6(3) \\ \gamma_7(1) & \gamma_7(2) & \gamma_7(3) \\ \gamma_8(1) & \gamma_8(2) & \gamma_8(3) \\ \gamma_9(1) & \gamma_9(2) & \gamma_9(3) \\ \gamma_{10}(1) & \gamma_{10}(2) & \gamma_{10}(3) \\ \gamma_{11}(1) & \gamma_{11}(2) & \gamma_{11}(3) \\ \gamma_{12}(1) & \gamma_{12}(2) & \gamma_{12}(3) \\ \gamma_{13}(1) & \gamma_{13}(2) & \gamma_{13}(3) \\ \gamma_{14}(1) & \gamma_{14}(2) & \gamma_{14}(3) \\ \gamma_{15}(1) & \gamma_{15}(2) & \gamma_{15}(3) \\ \gamma_{16}(1) & \gamma_{16}(2) & \gamma_{16}(3) \\ \gamma_{17}(1) & \gamma_{17}(2) & \gamma_{17}(3) \\ \gamma_{18}(1) & \gamma_{18}(2) & \gamma_{18}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,75 & 1 & 0,50 \\ 0,75 & 0,67 & 0,57 \\ 0,82 & 1 & 0,44 \\ 0,75 & 0,80 & 0,50 \\ 0,82 & 0,67 & 0,67 \\ 0,82 & 0,57 & 1 \\ 0,90 & 0,44 & 0,80 \\ 0,82 & 1 & 0,67 \\ 0,90 & 0,57 & 0,67 \\ 0,82 & 0,57 & 0,80 \\ 1 & 0,57 & 0,57 \\ 0,75 & 0,50 & 0,67 \\ 0,90 & 0,80 & 0,80 \\ 0,82 & 0,67 & 0,80 \\ 0,75 & 0,57 & 0,80 \\ 0,75 & 0,80 & 1 \\ 0,75 & 1 & 1 \\ 0,90 & 0,44 & 0,80 \end{bmatrix} \quad (\text{VIII})$$

6. adım: (VIII)'de gösterildiği gibi gri ilişki derecesi her hata türüne göre hesaplanmış, risk önceliklendirilmesi yapılmıştır. Daha sonra her üç risk faktörünün eşit ağırlığa sahip olduğu varsayılarak; gri ilişki dereceleri denklem (IX)'in yardımı ile Hata Türü 1 için hesaplanmıştır.

$$\tau_{01}(1) = \frac{1}{3} [\gamma_{01}(1) + \gamma_{01}(2) + \gamma_{01}(3)] = \frac{1}{3} [0,75 + 1 + 0,50] = 0,75 \quad (\text{IX})$$

Daha sonra şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik derecelerinin hatanın türüne göre önemliliklerinin değişebileceği düşünülerek, $\sum_{k=1}^n W_k = 1$ olacak biçimde, hatanın şiddeti, olasılığı ve tespit edilebilirliğine yönelik ağırlık katsayıları sırayla;

$W_S = 0,3$; $W_O = 0,3$ ve $W_T = 0,4$ şeklinde belirlenmiştir. (VIII)'deki gri ilişki dereceleri farklı ağırlıklı olarak hesaplanmıştır. Hata Türü 1 için hesaplama (X)'de gösterilmiştir.

$$\tau_{01} = 0,75 * 0,51 + 1 * 0,27 + 0,50 * 0,23 = 0,75 \quad (\text{X})$$

Elde edilen; HTEA RÖS, GİA Eşit Ağırlık RÖS ve GİA Farklı Ağırlık RÖS değerleri ve sıralamaları Tablo 3.4.'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.4. HTEA, Eşit ve Farklı Ağırlıklı GİA Karşılaştırması

HATA TÜRÜ	HTEA RÖS	HTEA RÖS İÇİN ÖNCELİK SIRASI	GİA EŞİT AĞIRLIK RÖS	GİA EŞİT AĞIRLIK İÇİN ÖNCELİK SIRASI	GİA FARKLI AĞIRLIK RÖS	GİA FARKLI AĞIRLIK İÇİN ÖNCELİK SIRASI
HT 1	108	12	0,75	11	0,75	7
HT 2	180	2	0,66	2	0,69	2
HT 3	112	11	0,75	12	0,78	12
HT 4	162	3	0,68	3	0,70	3
HT 5	128	9	0,72	9	0,74	5
HT 6	80	14	0,80	14	0,80	14
HT 7	147	5	0,71	7	0,76	8
HT 8	64	15	0,83	15	0,83	16
HT 9	140	7	0,71	5	0,76	10
HT 10	120	10	0,73	10	0,75	6
HT 11	150	4	0,71	6	0,79	13
HT 12	216	1	0,64	1	0,67	1
HT 13	63	16	0,83	16	0,85	17
HT 14	96	13	0,76	13	0,77	11
HT 15	135	8	0,71	4	0,72	4
HT 16	54	17	0,85	17	0,82	15
HT 17	36	18	0,92	18	0,87	18
HT 18	147	6	0,71	8	0,76	9

Tablo 3.4. incelendiğinde üç modelin uygulanması sonucu, ilk üç sıradaki önceliklendirilen hata türlerinin sırasının değişmediği görülmektedir. Fakat iki farklı şekilde hesaplanan GİA sonuçları HTEA RÖS'e göre değişiklik göstermektedir. Örneğin HT 1'in, HTEA RÖS'e göre öncelik sırası 12 iken; GİA Eşit Ağırlık RÖS'e göre öncelik sırası 11 ve GİA Farklı Ağırlık RÖS'e göre öncelik sırası 7 olarak elde edilmiştir. HT 2, HT 4, HT 6 ve HT 12 tüm değerlendirmeler için aynı sırada yer almasının; HTEA RÖS değerleri arasındaki farkın çok fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu üç yöntem karşılaştırıldığında, GİA Farklı Ağırlık RÖS değerlerinin daha güvenilir olduğu düşünülmektedir. Bunun sebebi, GİA Farklı Ağırlık RÖS hesaplamasında her hata türünün şiddet, olasılık ve tespit edilebilirliğine farklı ağırlıklar atanmakta; bu nedenle daha hassas ve güvenilir sonuçlara ulaşılmaktadır. HTEA RÖS değerlerinin tam sayı olarak bulunması ve eşit çıkma olasılığı; GİA Eşit Ağırlık RÖS

değerleri hesaplanırken şiddet, olasılık ve tespit edilebilirliğin aynı ağırlıklarda olması, değerlerin her hata türü için aynı etki ve sonuca sahip olunduğunun varsayılması bu 2 yöntemin zayıf yönleridir.

3.3.4. Uyum Analizi ve Sonuçları

Araştırmanın gerçekleştirildiği işletmenin ürün kalitesini arttırmak istemesi; HTEA yöntemi ile belirlenen hata ve hata türlerinin kaynaklandığı ana nedenlerinin belirlenmesi ve bu nedenlerin ortadan kaldırılmasını gerektirmektedir. HTEA ile belirlenen nedenlerin genellikle işçi dikkatsizliği, bakımların zamanında yapılmaması, kullanılan maddelerin kalitesiz olması, üretim alanının yetersizliği, belirli bir iş akışının olmaması, maliyetlerin düşük tutulmaya çalışılması ve işçilerin üretim konusundaki eksikliklerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. İşletme içinde hatalara neden olan pek çok hata sebebi HTEA Takımı ile görüşmeler doğrultusunda; Toz NPK 20-10-20 gübresi için 7 hata ana nedeni başlığı altında toplanmıştır. Bunlar sırasıyla; İşçi dikkatsizliği (İŞÇİ), Bakım ve kontrol yetersizliği (BKM), Kalitesiz hammadde ve malzeme kullanımı (KLT), Üretim ortamı yetersizlikleri ve uyumsuzluğu (ORT), Faaliyetin uygun yerine getirilmemesi (FLYT), Maliyet kaygısı (MLYT) ve Sistem hatası (SSTM) olarak tanımlanmıştır. Sıvı NPK 8-8-8 gübresi için hata nedenleri 8 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar; İşçi dikkatsizliği (İŞÇİ), Bakım ve kontrol yetersizliği (BKM), Kalitesiz hammadde ve malzeme kullanımı (KLT), Üretim ortamı yetersizlikleri ve uyumsuzluğu (ORT), Faaliyetin uygun yerine getirilmemesi (FLYT), Maliyet kaygısı (MLYT), Sistem hatası (SSTM) ve Eğitim yetersizliği (EĞ) olarak tanımlanmıştır.

Toz NPK 20-10-20 Uygulama

Toz NPK 20-10-20 gübresi için belirlenen 17 hata türü ve 7 ana başlıkta toplanan Hata nedenleri Uyum analizi ile incelenmiştir. Uyum analizinde GİA Farklı Ağırlık yardımıyla hesaplanan önceliklere göre ilk 10 sırada yer alan önemli hata türleri ele alınmıştır. İşletmede bir ay içerisinde karşılaşılan en önemli 10 hata türü ve hata türlerinin oluşmasında etken olan hata nedenlerine ilişkin frekans değerleri Tablo 3.5 de verilmiştir.

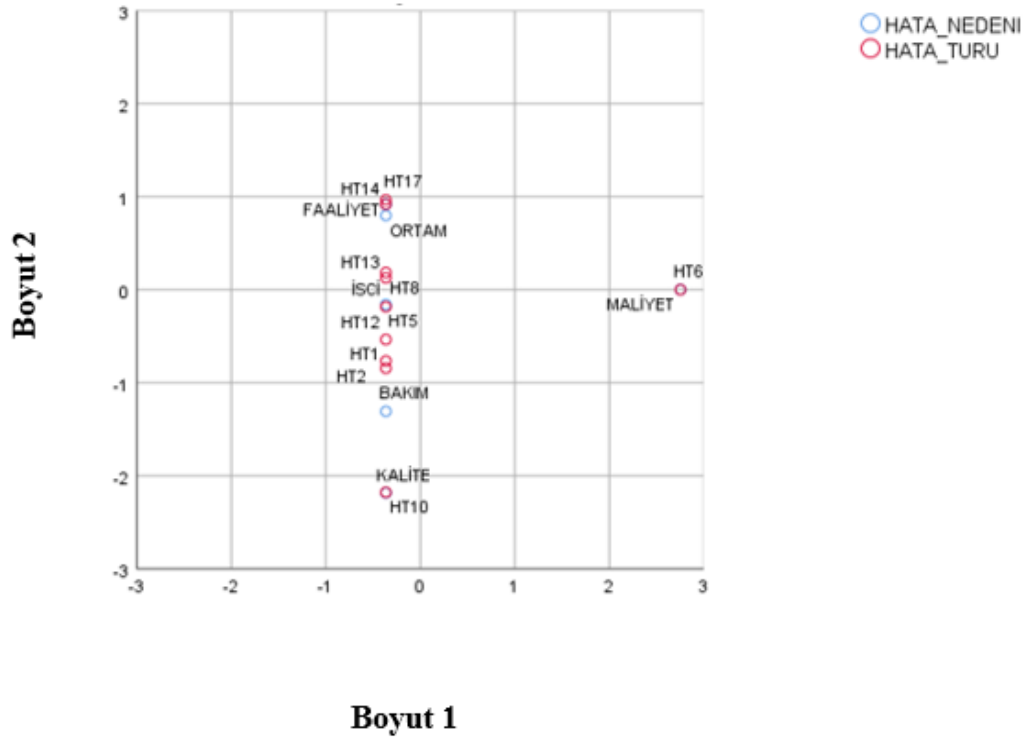
Tablo 3.5. Bir Ay İçerisinde Gerçekleşen Hata Sayıları

	TOZ NPK 20-10-20	HATA ANA NEDENLERİ							TOPLAM
NO:	GİA FARKLI AĞIRLIK RÖS	İŞÇİ	BKM	KLT	ORT	FLYT	MLYT	SSTM	
1	HT 12	3	0	0	0	0	0	0	3
2	HT 8	6	0	0	3	0	0	0	9
3	HT 6	0	0	0	0	0	7	0	7
4	HT 13	3	0	0	0	1	0	0	4
5	HT 14	0	0	0	8	0	0	0	8
6	HT 5	0	3	0	2	0	0	0	5
7	HT 2	3	0	1	0	0	0	0	4
8	HT 17	0	0	0	8	4	0	0	12
9	HT 10	0	2	4	0	0	0	0	6
10	HT 1	1	1	0	0	0	0	0	2
Bir Ay İçinde Gerçekleşen Toplam Hata									60

Tablo 3.5.'de gösterildiği gibi 1 ay içinde 60 hata meydana gelmiştir. En fazla HT 17 ile karşılaşılmış ve 12 kez meydana gelmiştir. Bu hataların 8 tanesi Üretim ortamı yetersizlikleri ve uyumsuzluğu hata ana nedenlerinden; 4 tanesi ise Faaliyetin uygun yerine getirilmemesi hata ana nedeninden kaynaklanmıştır. En az HT 1 ile karşılaşılmış ve bu hata türünün 2 kez meydana geldiği belirlenmiştir; biri İşçi dikkatsizliği hata ana nedeninden, diğeri ise Bakım ve kontrol yetersizliği hata ana nedeninden kaynaklanmıştır.

İşletmeden elde edilen veriler doğrultusunda gerçekleştirilen uyum analizi sonuçları Şekil 3.1'de verilmektedir.

Şekil 3.1. Hata Türü ve Hata Ana Nedeni İlişkisi



Şekil incelendiğinde, HT 10'un KLT (Kalitesiz hammadde ve malzeme kullanımı) ve BKM (Bakım ve kontrol yetersizliği) hata ana nedenlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir ve grafikteki konumunun KLT (Kalitesiz hammadde ve malzeme kullanımı) hata ana nedenine daha yakın olduğu için bu hata ana nedeninden kaynaklanmasının daha olası olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

HT 1, HT 2, HT 5, HT 8, HT 12 ve HT 13 hata türleri grafiğin aynı bölgesinde yer almakta; bu hata türlerinin BKM (Bakım ve kontrol yetersizliği) ve İŞÇİ (İşçi dikkatsizliği) hata ana nedenlerinden kaynaklandığı saptanmıştır. HT 1 ve HT 2'nin BKM (Bakım ve kontrol yetersizliği) hata ana nedenine daha yakın olması nedeniyle bu hata ana nedeninden kaynaklandığı sonucuna ulaşılabilmektedir. Aynı zamanda HT 5, HT 8, ve HT 13 hata türlerinin, ORT (Üretim ortamı yetersizlikleri ve uyumsuzluğu) hata ana nedeninden meydana geldiği belirlenmiştir. HT 6 ise, MLYT (Maliyet kaygısı) hata ana nedeninden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmaktadır.

HT 14 ve HT 17, grafiğin aynı bölgesinde yer aldıkları için FLYT (Faaliyetin uygun yerine getirilmemesi) ve ORT (Üretim ortamı yetersizlikleri ve uyumsuzluğu) hata ana nedenlerinden meydana geldiği ve grafikteki uzaklıkları FLYT (Faaliyetin uygun yerine getirilmemesi) hata ana nedenine daha yakın olduğun için bu nedenden kaynaklanma olasılıklarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

İşletme için en önemli ve kritik hata türleri olan HT 12 ve HT 8'in ortak nedenlere dayanması (Bakım ve kontrol yetersizliği ve İşçi dikkatsizliği) nedeniyle işletmenin bu hata ana nedenlerini ortadan kaldırması büyük katkı sağlayacaktır. Buna ek olarak işletme için 3. önemli hata türü olan HT 6'nın ise grafike göre (Maliyet kaygısı) nedeni ile ilişkili çıkması işletmenin göz ardı etmemesi gereken bir sonuçtur.

Sıvı NPK 8-8-8 Uygulama

Toz NPK 20-10-20 gübre için yapılan uyum analizi adımları Sıvı NPK 8-8-8 gübre için uygulanmış ve belirlenen 18 hata türü ve 8 ana başlıkta toplanan Hata nedenleri uyum analizi ile incelenmiştir. Uyum analizinde GİA Farklı Ağırlık yardımıyla öncelikleri hesaplanan en önemli 10 hata türü ele alınmıştır. İşletmede bir ay içerisinde karşılaşın en önemli 10 hata türü ve hata türlerinin oluşmasında etken olan hata

	SIVI NPK 8-8-8	HATA ANA NEDENLERİ								
NO:	GİA FARKLI AĞIRLIK RÖS	İŞÇİ	BKM	KLT	ORT	FLYT	MLYT	SSTM	EĞ	TOPLAM
1	HT 12	0	0	0	0	0	0	4	0	4
2	HT 2	3	0	0	2	0	0	0	0	5
3	HT 4	0	0	0	0	0	0	7	0	7
4	HT 15	0	0	0	6	0	0	0	0	6
5	HT 5	0	0	0	2	0	0	0	2	4
6	HT 10	2	3	0	0	0	0	0	0	5
7	HT 1	1	2	0	0	0	0	0	0	3
8	HT 7	0	5	0	2	0	0	0	0	7
9	HT 18	4	8	0	0	0	0	0	0	12
10	HT 9	0	0	0	6	0	0	0	0	6
Bir Ay İçinde Gerçekleşen Toplam Hata										59

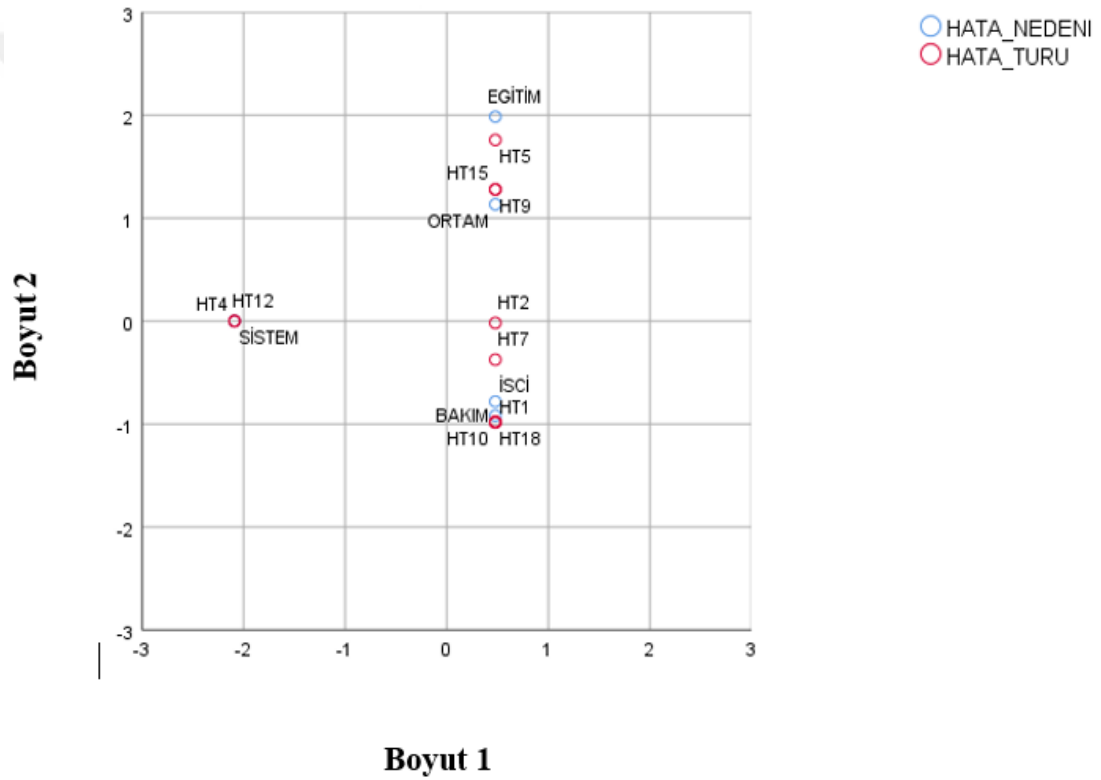
nedenlerine ilişkin frekans değerleri Tablo 3.6 de verilmiştir.

Tablo 3.6. Bir Ay İçerisinde Gerçekleşen Hata Sayıları

Tablo 3.6.'de gösterildiği gibi 1 ay içinde 59 hata meydana gelmiştir. En fazla hata HT 18'de 12 kez meydana gelmiştir ve bu hatların 8 tanesi Bakım ve kontrol yetersizliği hata ana nedeninden kaynaklanmış 4 tanesi ise İşçi dikkatsizliği hata ana nedeninden kaynaklanmıştır. En az hata HT 1'de 3 kez meydana gelmiştir ve 1 tanesi İşçi dikkatsizliği hata ana nedeninden 2 tanesi Bakım ve kontrol yetersizliği hata ana nedeninden kaynaklanmıştır.

Elde edilen veriler doğrultusunda Sıvı NPK 8-8-8 gübresi için gerçekleştirilen uyum analizi sonuçları Şekil 3.2'de verilmektedir

Şekil 3.2. Hata Türü ve Hata Ana Nedeni İlişkisi



HT 1, HT 2, HT 7, HT 10 ve HT 18 grafiğin aynı bölgesinde yoğunlaştığı için İŞÇİ (İşçi dikkatsizliği) ve BKM (Bakım ve kontrol yetersizliği) hata ana nedenlerinden ortaya çıktığı tespit edilmiştir. HT 1, HT 10 ve HT 18; grafikte BKM (Bakım ve kontrol yetersizliği) hata ana nedenine daha yakın oldukları için bu hata ana nedeninden meydana gelmeleri daha olasıdır. HT 2 ve HT 7 ise grafikte İŞÇİ (İşçi dikkatsizliği) hata ana nedenine daha yakındır ve bu nedenden kaynaklanması daha olasıdır.

HT 4 ve HT 12'nin, grafikte aynı bölgede yer aldığı; SSTM (Sistem hatası) hata ana nedeni ile ilişkili olduğu ve bu nedenle kaynaklandığı sonucuna ulaşılmaktadır.

HT 5, HT 9 ve HT 15 grafikte görüldüğü gibi aynı bölgede yer almış ve ORT (Üretim ortamı yetersizlikleri ve uyumsuzluğu) ve EĞ (Eğitim yetersizliği) hata ana nedenleri ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. HT 9 ve HT 15, grafikte ORT (Üretim ortamı yetersizlikleri ve uyumsuzluğu) hata ana nedenine EĞ (Eğitim yetersizliği) ana nedenine göre daha yakın oldukları için ORT (Üretim ortamı yetersizlikleri ve uyumsuzluğu) hata ana nedeninden dolayı ortaya çıkabilme olasılıkları daha fazladır. HT 5'in ise EĞ (Eğitim yetersizliği) hata ana nedeninden meydana gelebilmesi daha olasıdır.

Sıralamada en önemli olan HT 12 ve 3. sırada önemli HT 4'ün temel sebebinin Sistem olduğu görülmekte, işletmenin buna ilişkin önlem alması gerekmektedir. İşletme için 2. sırada önemli olan HT 2'nin ortadan kaldırılması İşçi dikkatsizliğine ilişkin önlemlerin alınmasına bağlı olduğu görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz dünyasında küreselleşme ile artan rekabet ortamı, pek çok sektörü ve işletmeyi, faaliyetlerini devam ettirme konusunda zorlamaktadır. Bu sektörlerden biri de ülkemiz açısından önemli yere sahip olan tarım gübresi sektörü olup; çok sayıda işletme bu sektörde faaliyet göstermektedir. İşletmelerin ürünlerinin kalitesinin artırılmasında, pazarda tutunmasında ve rekabet avantajı sağlamasında ortaya çıkabilecek engeller veya hataların belirlenmesi ve bunlara ilişkin önlemlerin, henüz ürün pazara sunulmadan ve nihai kullanıcıya ulaşmadan üretim sürecinde alınması gerekmektedir. Bu çalışmada tarım sektöründe üretim yapan bir işletmenin toz ve sıvı gübre ürünlerinin üretim sürecinde meydana gelen ve gelmesi muhtemel hataları önlemek için HTEA ve GİA yöntemleri birlikte ele alınmıştır. GİA'nın en önemli katkısı, HTEA'da eşit ağırlık verilen şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik faktörlerine farklı ağırlıklar atanarak daha sağlıklı önceliklendirilmenin yapılmasını sağlamasıdır. Çalışmada GİA yardımıyla elde edilen önceliklendirilmiş hata türleri Uyum analizi yardımıyla hata nedenleri ile ilişkilendirilmiştir.

Araştırma sürecinde ele alınan Toz gübre ürünü için 17 hata türü tespit edilmiştir. Elde edilen hata türlerinin şiddet, olasılık, tespit edilebilirlik değerleri, HTEA takım üyeleri ile birlikte atanmış ve değerlerin birbiri ile çarpılması sonucu RÖS değerleri belirlenmiştir. Elde edilen RÖS değerlerinin sıralamasına göre en önemli hata türü, HT 8 (gramaj hatası), en az önemli olan hata türü ise HT 16 (yanlış ürün gönderimi) olarak tespit edilmiştir.

HTEA'nın eksiklerini gidermek için GİA yardımıyla hata türleri; şiddet, olasılık, tespit edilebilirlik faktörlerine hem eşit ağırlık hem de farklı ağırlıklar atanarak yeniden önceliklendirilmiştir. Yapılan analiz sonucu son üç sıradaki hata türlerinin yerinin değişmediği, ancak iki farklı şekilde hesaplanan GİA sonuçlarının geleneksel HTEA RÖS'e göre büyük oranda değiştiği saptanmıştır.

GİA'nın farklı ağırlık atanarak önceliklendirdiği hata türlerinden kısa sürede giderilmesi gereken en önemli ilk 10 hata türü ele alınmış ve bu hata türlerinin, üretim sürecinde 1 ay içinde kaç kez meydana geldiklerine ilişkin veriler işletmeden elde edilmiştir. İşletmede hataların ortaya çıkmasına sebep olan hata nedenleri 7 ana başlık altında toplanmış; bu hata nedenleri ve hata türleri arasındaki ilişki Uyum Analizi ile;

hangi hata türünün hangi hata ana nedeni ile ilişkili olduğu incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, toz gübre üretim sürecinde en önemli olan HT 12 (Yanlış ambalaja konulma hatası) ve HT 8 (Gramaj hatası) ortak hata nedenlerine; Bakım ve kontrol yetersizliği ve İşçi dikkatsizliğine; dayandığı tespit edilmiştir. İşletmenin bu hata ana nedenlerini ortadan kaldırmasının üretim süreci ve ürün kalitesine büyük katkı sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Toz gübre ürünü için 3. sırada önemli hata türü olan HT 6'nın ise Maliyet kaygısı nedeni ile ilişkili çıkması işletmenin göz ardı etmemesi gereken bir sonuçtur. Bunlara ek olarak, çalışanlara eğitim, düzenli bakım ve onarım faaliyetleri, kaliteli hammadde kullanımı, üretim sürecinde fan gibi daha fazla üretim teçhizatı bulundurma, nemli ve yağmurlu havalarda üretimin daha dikkatli gerçekleştirilmesi, üretim ve stok alanlarının sıcaklığının ayarlanması ile taşıma ve sevkiyat sırasında oluşabilecek sorunlara dikkat etmesi gerekmektedir.

İşletmeden elde edilen veriler doğrultusunda Sıvı gübrenin üretim sürecinde 18 hata türü ile karşılaşıldığı tespit edilmiştir. Toz Gübre için uygulanan analiz adımları sıvı gübre ürünü için de takip edilmiştir. HTEA ile belirlenen RÖS değerleri, önceliklerine göre sıralanmış; en önemli hata türü HT 12 (ventilsiz kapak hatası) en az önemli hata türü ise HT 17 (yanlış ürün gönderimi) olarak belirlenmiştir. HTEA ile önceliklendirilen hata türleri, GİA ile; hem eşit ağırlık hem de farklı ağırlık atanarak önceliklendirilmiştir. Yapılan analiz sonucu toz gübre sonuçlarına benzer şekilde; ilk üç sırada yer alan hata türlerinin sırasının değişmediği; fakat iki farklı şekilde hesaplanan GİA sonuçlarının HTEA RÖS'e göre genel olarak değiştiği saptanmıştır.

GİA farklı ağırlık atanarak önceliklendirilen hata türlerinden ilk on sırada yer alan yani işletme için önlem alınma önceliğinde olan 10 hata türünün, 1 ay içinde karşılaşımla sayısı ve 8 ana başlık altında toplanan hata nedenleri arasındaki ilişki Uyum analizi ile incelenmiştir. Sıralamada en önemli hata türü olan HT 12 ve 3. öncelik sırasına sahip HT 4'ün ortak sebebinin Sistem hatası nedeni olduğu görülmektedir. 2. öncelik sırasına sahip HT 2'nin temel sebebinin İşçi dikkatsizliği olduğu belirlenmiştir. İşletmenin bu hata nedenlerine ilişkin önlemler almasının üretim süreci ve kalite iyileştirme anlamında önemli olacağı sonucuna ulaşılmaktadır. Ayrıca sıvı gübre üretim sürecinde ve tüm işletme genelinde çalışanlara eğitim, ventilli kapak, kaliteli bidon gibi etkinliği ve verimliliği artıracak malzeme kullanması, bakım ve onarımın sürekli hale

getirilmesi, çökelti oluşumunun engellenmesi ve taşıma sırasında oluşabilecek sorunlara daha fazla dikkat etmesi gerekmektedir.

İşletmenin rekabet avantajı elde etmesi, sorunsuz üretim süreci ve ürün sağlaması ile kalite iyileştirme sürecinde gelişme sağlaması için Toz NPK 20-10-20 ve Sıvı NPK 8-8-8 ürünlerinin üretim sürecinin geliştirilmesi gerektiği önemli sonuçlardan biridir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre işletmenin genel anlamda kar-zarar denkleminde doğal olarak maliyet kaygısı taşıdığı, üretim sürecinin bakım ve kontrol prosesinde bir takım yetersizliklere sahip olduğu, işçilerin yeterince dikkatli çalışmadığı ve üretim sisteminde genel anlamda bir takım düzensizlik ve yetersizliklerle karşılaşıldığı belirlenmiştir. Bu problemlere yönelik daha fazla düşünülmesi bir takım iyileştirmeler sağlayacaktır. Özellikle çalışanların motivasyonunu ve performansını artıracak eğitim ve sosyal faaliyetlerin düzenlenmesi, üretim sürecinin bir sistem bütünü içinde ele alınarak yeniden değerlendirilmesi ve geliştirilmesi tavsiye edilmektedir. Bunun yanında tüm işletmelerin ortak ve doğal kaygılarından biri olan maliyet kaygısına ilişkin analizlerin gerçekleştirilmesi, özellikle üretim sürecinde katlanılan ve gereksiz görülen veya algılanan fazla veya ekstra maliyetlerin uzun dönemde işletmeye maddi ve maddi olmayan bir takım avantajlar ve kazançlar sağlayacağı unutulmaması ve göz ardı edilmemesi gereken gerçeklerden biridir.

İşletmede karşılaşılan hata ve hata türlerine odaklanılması ve önlenmesi ile bunun işletmeye sağlayacak katkı ya da avantaj arasında değerlendirme, rekabet avantajı ve kalite iyileştirme sürecinde belirlenecek stratejik planların başlangıcı olmalıdır. Bu nedenle çalışmada HTEA ile GİA'nın bütünleştirilmesi ile gerçekleştirilen hata türlerinin önceliklendirilmesinin işletmeye rehber olacağı planların gerçekleştirilmesinde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bunun yanında önceliklendirilen hata türlerine ilişkin kısa sürede üstesinden gelinmesi gereken nedenlerinin ortaya konması; önlem planlamasının hızlıca yapılmasını sağlayacak rekabet ortamında işletme esnekliği için avantaj sağlayacaktır.





EKLER

EK 1. HTEA Formu ve Değerlendirmeler

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ PROSES FMEA						FMEA NO: 01	
								PROSES ADI: TARTIM ÜNİTESİ	
								SAYFA: 1/1	
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Toz NPK 20-10-20									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018						BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019			
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN						TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu			
POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ÖNLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
1-Tartımın yanlış yapılması	1-İstenilen ürün elde edilmez. 2-Ürünün kalitesi düşer. 3-Bitkiye zarar verebilir ya da fayda sağlamaz. 4-Müşteri memnuniyetsizliği.	1-İşçi dikkatsizliği. 2-Tartım cihazının bozuk olması.	Her proses öncesi	9	2	6	108	1-Yeni bir tartım cihazı daha alınmalı. 2-Her proses öncesi hammaddeler iki kez tartılmalı.	Üretim Sorumlusu

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ PROSES FMEA						FMEA NO: 02	
								PROSES ADI: HARMANLAMA ÜNİTESİ	
								SAYFA: 1/3	
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Toz NPK 20-10-20									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018						BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019			
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN						TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu			
POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ÖNLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
1-Karıştırma işleminin uzaması.	1-Ürünün kekleşmesi ve suda çözülmez hale gelmesi. 2-Kekleşen ürünün eleme ünitesinden geçmemesi.	1-İşçi dikkatsizliği. 2-Kalitesiz hammadde kullanımı.	Proses boyunca	9	3	4	81	1-İşlem boyunca işçinin makinenin başında bulunmalı. 2-Kaliteli hammadde seçilmeli. 3-Karıştırma süresi boyunca karıştırma tankının basıncının kontrol edilmeli. 4-Çalışanlara eğitim verilmeli.	Üretim Sorumlusu

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ PROSES FMEA				FMEA NO: 02			
						PROSES ADI: HARMANLAMA ÜNİTESİ			
						SAYFA: 2/3			
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Toz NPK 20-10-20									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018					BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019				
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN					TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu				
POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ÖNLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
2-Hammaddenin harmanlamada nemlenmesi	1-Hammadde kekleşir. 2-Fire artar. 3-Beyan tutmaz. 4-Değerler tutmaz.	1-Doğal şartlardan dolayı nemin fazla olması. 2-Yağmurlu havalarda üretim yapılması.	Proses boyunca	8	6	2	96	1-Fan sürekli çalışmalı ve büyütülmeli. 2-Hava sirkülasyonu sağlanmalı. 3-Yağmurlu havalarda üretim yapılmamalı.	Üretim Sorumlusu
3-Harmanlama ünitesinin devrinin yüksek olması	1-Ürün sertleşir. 2-Kalitesi düşer. 3-Suda çözülmesi zorlaşır.	1-Sistem hatası. 2-İşçi dikkatsizliği. 3-Ünitenin hızlı dönmesi.	Proses boyunca	7	3	4	84	1-İşçilere eğitim verilmeli. 2-Kontroller sıklaştırılmalı.	Üretim Sorumlusu

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ						FMEA NO: 02	
		PROSES FMEA						PROSES ADI: HARMANLAMA ÜNİTESİ	
								SAYFA: 3/3	
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Toz NPK 20-10-20									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018						BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019			
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN						TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu			
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
4-Harmanlama ünitesinin devrinin düşük olması.	1-İstenilen ürün elde edilmez. 2-Ürünün kalitesi düşer.	1-Çevirici dinamların bakımının yapılmaması. 2-Elektiriğin az gelmesi.	Proses boyunca	8	4	4	128	1-Dinamo bakımları düzenli hale getirilmeli.	Üretim Sorumlusu
5-Jelaton ve Anhidrat maddelerinin kullanılmaması	1-Ürünlerin yapış yapış olması 2-Elemede fire artar. 3-Ürünün kalitesi düşer.	1-Maliyetin artması.	Proses boyunca	8	5	4	160	1-Jelaton veya Anhidrat maddelerinden biri tedarik edilmeli.	Satın Alma

	HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ						FMEA NO: 03		
	PROSES FMEA						PROSES ADI: ELEME		
							SAYFA: 1/1		
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Toz NPK 20-10-20									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018						BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019			
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN						TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu			
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
1-Toz taneciklerin uygun boyuta gelmemesi	1-Kalite algısının düşmesi. 2-Suda çözülmez maddelerin ürüne kazılması. 3-Müşteri memnuniyetsizliği ve ürün iadesi. 4-Bayi kayıplarına yol açması.	1-Kalitesiz hammadde kullanımı. 2-Harmanlama süresinin tamamlanmaması.	Proses boyunca.	8	5	2	80	1-Kalitesiz hammadde kullanımı. 2-Harmanlama süresinin tamamlanmaması.	Üretim Sorumlusu.

	HATA TÜRÜ VE ETKİLİLERİ ANALİZİ						FMEA NO: 04		
	PROSES FMEA						PROSES ADI: PAKETLEME		
							SAYFA: 1/3		
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Toz NPK 20-10-20									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018						BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019			
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN						TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu			
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
1-Gramaj hatası	1-Tescil iptali 2-Güven kaybı. 3-Müşteri memnuniyetsizliği.	1-Üretimdeki nemlenmeden dolayı dohum haznesinin tıkanması 2-İşçi dikkatsizliği.	Proses boyunca	8	5	5	200	1-Anti kek maddeleri kullanılmalı. 2-Yağmurlu havalarda üretim yapılmamalı.	Üretim Sorumlusu
2-Paketleme haznesinin tıkanması	1-Tedarik süresinin uzaması. 2-Beyan edilen kilonun tutmaması. 3-Üretimde yavaşlama.	1-Kalitesiz hammadde kullanımı. 2-Anti kek kullanılmaması 3-Fan yetersiz.	Proses boyunca.	8	4	2	64	1-Anti kek maddeleri kullanılmalı. 2-Fan büyütülmeli. 3-İşçilere verilmesi. eğitim	Üretim Sorumlusu

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ PROSES FMEA				FMEA NO: 05			
						PROSES ADI: DEPOLAMA			
						SAYFA: 1/1			
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Toz NPK 20-10-20									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018						BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019			
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN						TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu			
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
1-Deponun aşırı sıcak ve nemli olması	1-Ürünün erimesi. 2-Ambalaj renginin açılması. 3-Ürünün pazar değerinin düşmesi.	1-Depoda havalandırma mevcut değil. 2-Fan mevcut değil.	Proses öncesi	7	6	4	168	1-Havalandırma açılmalı. 2-Fan konulmalı.	Üretim Sorumlusu

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ PROSES FMEA				FMEA NO: 06			
						PROSES ADI: SEVKİYAT			
						SAYFA: 1/2			
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Toz NPK 20-10-20									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018						BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019			
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN						TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu			
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
1-Eksiz ya da fazla sayıda ürün gönderimi	1-Müşteri memnuniyetsizliği 2-Pazar kaybı.	1-İşçi dikkatsizliği 2-Yanlış sipariş geçilmesi.	Her proses öncesi ve sonrası	9	3	2	54	1-Kontroller proses öncesi ve sonrası olmak üzere iki kez yapılmalı. 2-Sevk formları hatasız olmalı	Pazarlama Bölümü
2-Yanlış ürün gönderimi	1-Müşteri memnuniyetsizliği.	1-İşçi dikkatsizliği.	Her proses öncesi ve sonrası	9	2	2	36	1-Kontroller yapılmalı. 2-İşçiler uyarılmalı	Pazarlama Bölümü

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ PROSES FMEA				FMEA NO: 06			
						PROSES ADI: SEVKİYAT			
						SAYFA: 2/2			
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Toz NPK 20-10-20									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018				BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019					
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN				TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu					
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
3-Ürünü bayilere taşırken oluşan hatalar	1-Ürünün geç ulaşması 2-Müşteri memnuniyetsizliği 3-Ürünün paketinin fazla yüklemekten patlaması	1-Bayı yerinin karışması 2-Sevk aracının yetersiz olması	Her proses öncesi	7	7	3	147	1-Hatalı ve aşırı istifleme yapılmamalı. 2-Forkliftte düzgün konulmalı. 3-Taşıma sırasında palet kullanılmalı.	Pazarlama

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ PROSES FMEA				FMEA NO: 01			
						PROSES ADI: TARTIM ÜNİTESİ			
						SAYFA: 1/1			
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Sıvı NPK 8-8-8									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018				BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019					
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN				TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu					
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
1-Tartımın yanlış yapılması	1-İstenilen ürün elde edilmez. 2-Ürünün kalitesi düşer. 3-Değerler hatlı olur. 4-Müşteri memnuniyetsizliği.	1-İşçi dikkatsizliği. 2-Tartım cihazının bozuk olması. 3-Tartımın düzenli olarak kontrol edilmemesi.	Her proses öncesi	9	2	6	108	1-Yeni bir tartım cihazı daha alınmalı. 2-Üretim öncesi cihaz kontrol edilmeli.	Üretim Sorumlusu

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ					FMEA NO: 02		
		PROSES FMEA					PROSES ADI: KARIŞTIRMA		
							SAYFA: 3/4		
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Sıvı NPK 8-8-8									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018					BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019				
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN					TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu				
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
5-Tankın sızdırması	1-Üründe fire oluşur. 2-Ürün değerleri değişir. 3-Kalite düşer.	1-Fiziksel kontrollerin yapılmaması. 2-Kimyasalların vanadaki borulara zarar vermesi.	Proses boyunca	8	5	2	80	1-Belirli aralıklarla hata payı yüksek olan borular değiştirilmeli. 2-Kaliteli borular kullanılmalı.	Üretim Sorumlusu
6-Karıştırma devrinin düşük olması.	1-Çözünme maddelerin çözünme oranı düşer. 2-Müşteri memnuniyetsizliği.	1-Dinamoların rutin kontrollerinin yapılmaması. 2-Elektiriğin düşük gelmesi.	Proses öncesi	7	7	3	147	1-Dinamo bakımları düzenli hale getirilmeli 2-Akım hızı ve sigortalar proses öncesi kontrol edilmeli.	Üretim Sorumlusu
								Üretim Sorumlusu	

		HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ PROSES FMEA				FMEA NO: 02			
						PROSES ADI: KARIŞTIRMA			
						SAYFA: 4/4			
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Sıvı NPK 8-8-8									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018				BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019					
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN				TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu					
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
7-Azot, fosfor, potasyum sırasının yanlış yapılması	1-Sıralama bozulur ve su sıcaklığı değişkenlik gösterir. 2-Hammaddelerin birbirine çözülmesi azalır.	1-İşçi dikkatsizliği. 2-Eğitim eksikliği. 3-Hammaddelerin birbirine benzemesi.	Proses sonunda	8	2	4	64	1-İşçilere eğitim verilmeli. 2-Hamaddde stok yerleri ayrılmalı.	Üretim Sorumlusu
								Üretim Sorumlusu	

	HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ PROSES FMEA					FMEA NO: 04 PROSES ADI: DOLUM VE PAKETLEME SAYFA: 2/2			
	PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek								
ÜRÜN ADI: Sıvı NPK 8-8-8									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018				BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019					
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN				TAKIM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu					
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TEŞEÜT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
3-Ventilsiz kapak hatası	1-Bidonun patlaması. 2-Bidonun şişmesi. 3-Bayi ve Pazar kaybı 4-Ürün indesi.	1-Bidonun içerisinde sıkışan gazın çıkamaması.	Proses sonunda	9	6	4	216	1-Ventilli kapaklar kullanılmalı.	Satın Alma
4-Kullanılan bidonların kalitesiz olması	1-Bidonun delinmesi. 2-Sızdırma 3-Müşteri memnuniyetsizliği.	1-Maliyetin artması.	Proses öncesi	7	3	3	63	1-Daha kaliteli bidonlar tercih edilmeli.	Satın Alma

	HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ						FMEA NO: 05		
	PROSES FMEA						PROSES ADI: DEPOLAMA		
							SAYFA: 1/1		
PROJENİN KONUSU: Muhtemel hataları önlemek									
ÜRÜN ADI: Sıvı NPK 8-8-8									
BAŞLAMA TARİHİ: 20.12.2018						BİTİŞ TARİHİ: 02.02.2019			
HAZIRLAYAN: SADIK YEREBAKAN						TAKİM ÜYELERİ: Ziraat Müh. Kimyager, Üretim Sorumlusu			
POTANSİYEL HATA TURU	HATANIN OLASI ETKİLERİ	HATANIN OLASI NEDENLERİ	MEVCUT KONTROL	ŞİDDET	OLASILIK	TESPİT	RÖS	TAVSİYE EDİLEN ONLEMLER	ŞAHSİ SORUMLULUK
1-Deponun soğuk olması	1-Soğuktan dolayı çökeltme. 2-Ürünün içeriği beyan edilene tutmaz.	1-Doğal şartlardan. 2-Bidon altlarında palet kullanılmaması	Proses öncesi	8	4	3	96	1-Bidonlar beton üzerine konulmamalı 2-Depoda hava akımı sağlanmalı.	Üretim Sorumlusu
2-Depolanan ürünlerin güneşte kalması	1-Bidon şişer 2-Etiket düşer. 3-Ventilden sızdırma.	1-Aşırı sıcaklardan dolayı kimyasalların tepkimeye girmesi.	Proses öncesi ve sonrası	9	5	3	135	1-Depolama alanı genişletilmeli. 2-Fan konulmalı.	Üretim Sorumlusu

KAYNAKÇA

- Akın, B. (1998). ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi. *Bilim Teknik Yayınevi*, İstanbul.
- Akpınar, B. (2015). Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemine Gri Teori Yaklaşımının Uygulanması Yüksek Lisans Tezi *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Ayaz, H. İ. ve Testik, M. C. (2017). Automation Of FMEA For Computer Servers Using Log Data With Grey Relational Analysis, *International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*.
- Baş. M. (2010) İşletmelerde Finansal Başarısızlığın Öngörülmesinde Gri İlişkisel Analiz Tekniği: Tekstil ve Deri Sektöründe Bir Uygulama Doktora Tezi, *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi*.
- Bertsche, B., (2008), Reliability in Automotiv and Mechanical Engineering, *Springer-Verlag, Berlin Heidelberg*.
- Bluvband, Z., Grabov, P., (2009), “Failure Analysis of FMEA”, *database of IEEE*.
- Chang, C. L., Liu, P. H. ve Wei, C. C. (2001) “Failure Mode and Effect Analysis Using Grey Theory”, *Integrated Manufacturing Systems*, 12(3):211-216.
- Chiu, M. C., Chu, C. Y. and Chen, C. C. (2017). An İntegrated Product Service System Modelling Methodology With A Case Study Of Clothing İndustry, *International Journal of Production Research*, 56:6, 2388-2409.
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation (2008), “Potential Failure Mode and Effects Analysis”, *Reference Manual, Fourth Edition*.
- CLAUSEN S.E. (1998), Applied Correspondence Analysis-An Introduction, *Sage Publicatio, USA*.
- CLAUSEN Sten-Erik (1998), Applied Correspondence Analysis, *Sage Publication, USA*.
- Crow, K. (2002). Failure modes and effects analysis (FMEA). Retrieved April 18, 2005, from <http://www.npd-solutions.com/fmea.html>. 1-2.
- Crowe, T.J. ve Cheng, C.C. (1996). Using Quality Function Deployment in Manufacturing Strategic Planning, *International Journal of Operations&Production Management*, 1(4).

- Çakmak, Z., Baş, M. ve Yıldırım, E. (2012) Gri İlişkisel Analiz ve Uyum Analizi İle Bir İşletmede Karşılaşılan Üretim Hatalarının İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* C.17, S.1, s.123-142.
- Çeber, Y. (2010). Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminin (Fmea) Üretim Sektöründe Uygulanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Deng, J.L., (1989), Introduction to Grey System”, *The Journal of Grey System*,1(1): 1-24.
- Dırdağ, A. (2008). Failure Mode And Effects Analysis (Fmea) And An Implementation Study In A Packaging Company. *Marmara University Institute For Graduate Studies In Pure And Applied Sciences*.
- Down,M., Brozowski, L., Younis, H., Benedict, D., Feghali, J., Schubert, M., Brender, R., Gruska, G., Vallance, G., Krasich, M., Haughey, W., (2008), Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Reference Manual (4th Ed.), Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation
- Durhan D. (2006) Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Dyadem Engineering Corporation (2003), Guidelines for Failure Mode and Effects Analysis, for Automotive, Aerospace and General Manufacturing Industries, U.S.: Dyadem Press
- Feng, C.M. ve Wang, R.T., (2000). Performance evaluation for airlines including the consideration of financial ratios, *Journal of Air Transport Management*, 6, 133-142
- Ford Motor Company. (1995) Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), General Motors Corporation,
- Ford Motor Company. (2000) Failure Mode and Effects Analysis Handbook, 1st Ed., Dearborn,
- Geum, Y. Cho, Y. Park, Y. (2011), A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach *Department of Industrial Engineering, School of Engineering, Seoul National University, San 56-1, Shillim-Dong, Kwanak-Gu, Seoul 151-742, Republic of Korea*

- Gök, A. C., (2015) .Performans Değerlendirmesinde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı: Türk İmalat İşletmeleri Örneği, *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.*
- Greenacre M. ve J. Blasius,(1994), Correspondence Analysis in the Social Sciences, Academic Press Limited, USA.
- Güleç, F. Özkan, A. (2017) Gri İlişkisel Analiz Yöntemi İle Finansal Performansın Değerlendirilmesi: Bist Çimento Şirketleri Üzerine Bir Araştırma *Muhasebe ve Denetim BAKIŞ*
- <http://www.fmea-fmeca.com>
- 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, *BAÜ FBE Dergisi* , Temmuz 2009 Cilt:11, Sayı:1, 42-55
- Kahraman Ö. (2009). Bir Otomobil Fabrikasında İş Sağlığı ve Güvenliği alanında HTEA (FMEA) yöntemi ile risk analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya. S:21,28
- Kara-Zaitri, C., Keller, & A., Fleming, P. (1992, January). A smart failure mode and effect analysis package. Proc. *Annual Reliability and Maintainability, Sempozyumu*’nda sunulmuş bildiri, Nevada Üniversitesi, Las Vegas.
- Kılıç, A. F. (2016). Uyum Analizi (Correspondence Analysis), *Adıyaman University, Department of Educational Science*
- Köse E., Erol S. (2010), Temiz İ., Grey System Approach for EOQ Models, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 298-309.
- Kurşun, B., Kurt, Ü., Güvercin, S., Ökten, K., Akgül, S. Ve Yıldız, A. (2016). An Application For The Failure Mode and Effects Analysis Integrated With The Grey Relational Analysis, *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 17(2): 35-44, 2016 ISSN 2147–0308
- Kuvvetli, Ü. (2008). Failure Modes And Effects Analysis (Fmea) In Statistical Models. *Dokuz Eylül University Graduate School Of Natural And Applied Sciences*

- Lin, Yi, Mian-Yun, CHEN ve Sifeng, LIU, (2004), “Theory of Grey Systems: Capturing uncertainties of Grey Information”, Grey Systems Theory and Applications, Mian-Yun, CHEN, Sifeng, LIU ve Yi, LIN, (Ed.), Kybernetes, *The International Journal of Systems and Cybernetics*, Vol. 33, No. 2, pp. 196- 218.
- Liu, Sifeng and Yi, LIN, (2006), Grey Information: Theory and Pratical Applications With 60 Figures, Springer-Verlag London Limited, Springer Science+Business Media, Printed in the United States of America (MVY).
- McDermott, R.E., Mikulak, R.J., Beauregard, M.R., (1996), The basics of FMEA”, Qulity Resources , New Jersey, 63-67
- Musubeyli, E. N. (2004). Tasarım hata türü ve etkileri analizinin etkinliği için bir model uygulaması. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 15(3), 1726.
- Panchal D. ve Priyank Srivastava P. (2019). Qualitative analysis of CNG dispensing system using fuzzy FMEA–GRA integrated approach, *Int J Syst Assur Eng Manag* 10(1):44–56
- Özari Ç. ve Demir Erol E. (2019). Trend Analizi Ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemleriyle Finansal Performans Analizi *dergipark.org.tr/rs* Vol: 2, Issue: 5; pp: 230-246
- Özdamar, K. (2004), Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-2, *Kaan Kitabevi*, Eskişehir.
- Özyazgan, V., Engin, F.Z. (2013), FMEA Analysis And Applications in Knitting Industry, *TEKSTİL ve KONFEKSİYON* 23(3).
- Öziç, C. Gündoğmuş, E. Gümüş, U. (2017) Gri İlişkisel Analiz Yöntemi Kullanılarak Bist'te Tarım Ve Hayvancılık Sektöründe İşlem Gören İşletmelerin Finansal Performansının Değerlendirilmesi *International Journal of Academic Value Studies*.
- Pillay A., Wang J. (2003) Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning, *Reliability Engineering and System Safety*, 79, 69–85.
- Press, D.(2003) , Guidelines for Failure Mode and Effects Analysis for Medical Devices
- Rahimi, S. A., Jamshidi, A., Ait-Kadi, D. ve Ruiz, A. (2013). Using Fuzzy Cost-Based FMEA, GRA and Profitability Theory for Minimizing Failures at a Healthcare Diagnosis Service, *Wiley Online Library*.

- Sharma Kumar, R., Kumar, D. ve Kumar, P. (2005) “Systematic Failure Mode Effect Analysis Using Fuzzy Linguistic Modelling”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(9):986-1004.
- Sellappan N., Sivasubramanian R., Modified Method for Evaluation of Risk Priority Number in Design FMEA, *ICFAI Journal of Operations Management*, 2008, 7.
- Seyfullahoğulları, Ayhan (2003), “Çapraz Tabloların Analizi ve Ticari Malların Değerlendirilmesiyle İlgili Bir Uygulama”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı:4, Aralık.
- Silva, M. M., Poleto, T., Silva, L. C., Gusmao, A. P. H. and Costa A. P. C. S. (2016). A Grey Theory Based Approach to Big Data Risk Management Using FMEA. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume 2016*, Article ID 9175418, 15 pages
- Smith, D. L., (2008), FMEA: Preventing a Failure Before Any Harm is Done, 05.11.2008, <http://healthcare.isixsigma.com/library/content/c040317a.asp>
- Sofyalıoğlu C. (2011) Süreç Hata Modu Etkileri Analizi Gri Değerlendirme Modeli, Ege
- Sofyalıoğlu, Ç., Öztürk, Ş. (2012). Application of grey relational analysis with fuzzy AHP to FMEA method. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 13 (1), pp. 114-130. Akademik Bakış, 1, 155-164.
- Stmatis, D. H., (2003), Failure Mode and Effects Analysis: FMEA from Theory of Execution (2nd ed.), Wisconsin: Quality Pres
- Şimşek V. (2018). Nedensellik Analizi Ve Gri İlişkisel Analiz İle Performans Sıralaması: G20 Ülkeleri Üzerine Bir Çalışma *İstatistik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Hacettepe Üniversitesi*.
- Taşan K. (2006) Bir Risk Değerlendirme Ve Güvenilirlik Metodu Olarak Hata Türü Ve Etkileri Analizi (Htea) Yöntemi: Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde Uygulanması Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi*.
- Welborn, C., Carol, B., (2009), Proactive Safety, Professional Safety, October
- Williams, T., (2008), Minimizing Risks: How to Apply FMEA in Service, 05.11.2008, <http://finance.isixsigma.com/library/content/c040922a.asp>.

- 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.
- The Basics of FMEA, (2008), *Paperback* – December 12,
- Raymond J., McDermott R., Beauregard M., 1996 The Basics of FMEA
- Turgut, M. (2013). Bulanık Mantık Ve Gri Teori Esaslı HTEA İle Otomotiv Endüstrisi İmalatında Hata Önceliklendirme. Yüksek Lisans Tezi *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Wu, H. (2002) “A Comparative Study of Using Grey Relational Analysis in Multiple Attribute Decision Making Problems”, *Quality Engineering*, 15(2):209-217.
- Uzgören, N. (2007), “Uyum Analizinin Teorik Esasları ve Regresyon Analizi İle Benzerliğinin Grafiksel Boyutta Karşılaştırılması”, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, sayı:18, Kütahya.
- Ünlükal, C., Şenel, M. ve Bilgin Şenel, B. (2018). Risk Assessment with Failure Mode and Effects Analysis and Grey Relational Analysis Method in Plastic Injection Process, *ITM Web of Conferences* 22.
- Yang, L. and Liu Z. (2010). The risk assessment of Enterprise application software based on gray relational analysis and FMEA, *IEEE.Wuhan, China*.
- Yılmaz B., (2000). Hata Türü ve Etki Analizi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2, 4.
- Yılmaz E. ve Güngör F. (2010). Gri İlişkisel Analiz Yöntemine Göre Farklı Sertliklerde Optimum Takım Tutucusunun Belirlenmesi 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi-Balıkesir*
- Zhou, Q. ve Thai, V. V. (2015). Fuzzy and grey theories in failure mode and effect analysis for tanker equipment failure prediction, *Safety Science* 83 (2016), S 74-

DİZİN

A	İ
Analitik Hiyerarşi Prosesi, 39	İlişkisel Derece, 28
B	K
bulanık AHP, 39	Kalite Fonksiyon Göçerimi, 14
D	Karar Matrisi, 26
Deney Tasarımı, 15	Karşılaştırmalı Seriler, 36
E	Kontrol Planı, 15
EŞİT AĞIRLIK RÖS, 54	O
F	Olasılık, 8, 9, 11, 17, 20, 36
FARKLI AĞIRLIK RÖS, 54	Ö
G	Önlemlerin uygulanması, 17, 21
Gri Belirsizlik, 22	P
GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ, 3, 22	Potansiyel Hata, 20
Gri Teori, 22, 79, 84	Potansiyel hata sebepleri, 20
Grilik, 24	Proses HTEA, 16
gübre, 2, 45, 46, 62, 65, 66	R
H	RÖS, 11, 14, 17, 20, 21, 22, 40, 41, 42, 47, 48, 49, 50, 54, 58, 60, 66
Hata, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 20, 47, 48, 49, 50, 53, 57, 59, 60, 61, 62,	S
Hizmet HTEA, 16	Sıvı NPK 8-8-8, 46, 47, 48, 49, 55, 59, 62, 67
HTEA, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 36, 41, 42, 49, 50	Sistem HTEA, 15
	standart seri, 36, 37, 51, 55, 56

Ş	Tespit edilebilirlik, 10, 11, 21
Şiddet, 9, 10, 11, 17, 20, 21	Toz NPK 20-10-20, 46, 47, 50, 59, 62, 66
T	U
Tasarım HTEA, 15	Uyum analizi, 29, 32, 46, 65, 66

