

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BULANIK MANTIK VE GRİ TEORİ ESASLI HTEA İLE OTOMOTİV  
ENDÜSTRİSİ İMALATINDA HATA ÖNCELİKLENDİRME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet TURGUT**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**HAZİRAN 2013**







**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BULANIK MANTIK VE GRİ TEORİ ESASLI HTEA İLE OTOMOTİV  
ENDÜSTRİSİ İMALATINDA HATA ÖNCELİKLENDİRME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet TURGUT  
507101113**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Alp ÜSTÜNDAĞ**

**HAZİRAN 2013**









İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507101113 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet TURGUT**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BULANIK MANTIK VE GRİ TEORİ ESASLI HTEA İLE OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İMALATINDA HATA ÖNCELİKLENDİRME**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Doç. Dr. Alp ÜSTÜNDAĞ**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Ufuk CEBECİ**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. İhsan KAYA**      .....

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **24 Nisan 2013**  
**Savunma Tarihi :**      **05 Haziran 2013**



*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Otomotiv endüstrisinde çalışan bir mühendis olarak, bu endüstride işe yarayabilecek, pratik anlamda uygulanabilecek bir konu seçmek istedim. Yüksek lisans eğitimim boyunca ilgimi çeken çeşitli konular oldu. Bunların başında bulanık mantık, risk yönetimi, risk önceliklendirme gelmektedir. İmalatta çalışan biri için detaylar önemli iken, diğer yandan üzerinde çalışılan sürece yukarıdan, geniş bir bakış açısıyla bakabilmekte önemlidir diye düşünüyorum. Yüksek lisans eğitimim için endüstri mühendisliği bölümünü seçmekte ana nedenimde bu bakış açısını yakalayabilmektir. Bu yeteneği ve bilgisi olanların günümüzde de iyi yöneticiler olduklarını gözlemliyorum. İmalatta bir süreçte oluşabilecek riskleri değerlendirme, önceliklendirme, sürecin her kademesinde, süreç üzerinde çalışanlara çok değerli bilgiler sağlamaktadır. Kendi çalıştığım şirkette dahil birçok şirkette geleneksel hata türü ve etkileri analizi, risk önceliklendirme çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu sürecin geleneksel analizle nasıl işlediğini bizzat bu çalışmaların içinde bulunarak gözlemledim. Tezimde bu önemli iş için daha pratik, esnek, mantıklı ve sağlam bir yöntem olan, bulanık mantık ve gri teori esaslı hata türü ve etkileri analiziyle otomotiv endüstrisi imalatında risk önceliklendirme konusunu ele almak istedim. Bu tezi yazmamda bana yardımcı olan başta danışmanım Doç. Dr. Alp Üstündağ olmak üzere, aileme, çalıştığım firmaya, iş yerimdeki arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Haziran 2013

Mehmet Turgut  
Kimya Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. RİSK YÖNETİMİ.....</b>	<b>5</b>
2.1. Risk.....	5
2.2. Risk Yönetimi.....	6
2.2.1. Risk yönetimi prensipleri.....	6
2.2.2. Risk yönetimi sorumlulukları ve gereklilikleri.....	7
2.2.3. Risk yönetimi süreci.....	7
2.3. Risk Yönetimi Süreci Analizinde Risk Önceliklendirme Aracı Olarak HTEA	8
2.3.1. HTEA tanımı .....	8
2.3.2. Geleneksel HTEA .....	10
2.3.3. HTEA literatür taraması.....	13
2.3.3.1.Çok kriterde karar verme yaklaşımları .....	16
2.3.3.2. Matematiksel programlama yaklaşımları.....	17
2.3.3.3. Yapay zeka yaklaşımları.....	17
2.3.3.4. Bütünleşik yaklaşımlar .....	18
2.3.3.5. Diğer yaklaşımlar.....	19
2.4. Bulanık Mantık ve Gri Teori Esaslı HTEA .....	19
2.4.1. Bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama (BKS).....	20
2.4.1.1. Grup fikir yapıları.....	21
2.4.1.2. Durulaştırma.....	23
2.4.2. Gri teori.....	25
2.4.2.1. Karşılaştırmalı seriler .....	27
2.4.2.2. Standart seriler .....	27
2.4.2.3. Karşılaştırmalı seriler ve standart seriler arasındaki fark.....	27
2.4.2.4. Gri ilişkisel katsayı.....	27
2.4.2.5. İlişkisel derece .....	28
2.4.3. Bulanık mantık ve gri teori esaslı HTEA ve geleneksel HTEA'ya karşı üstün yanları .....	28
<b>3. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ .....</b>	<b>31</b>
3.1. Dünyada Otomotiv Endüstrisi .....	31
3.2. Türkiye'de Otomotiv Endüstrisi .....	34
3.3. ISO 16949 Otomotiv Endüstrisi Kalite Yönetim Sistemi.....	35
3.4. Toyota Üretim Sistemi.....	36

3.4.1. Amaçları .....	37
3.4.2. Odak noktaları .....	38
3.5. İmalatta Hata Yönetimi ve Kamyon Üretim Sistemi .....	39
3.5.1. İmalatta kalite döngüsü .....	39
3.5.2. Hata yönetimi adımları.....	40
3.5.2.1. Hatanın tespiti ve kaydı .....	40
3.5.2.2. Hataların sınıflandırılması ve önceliklendirilmesi.....	40
3.5.2.3. Hata analizi.....	41
3.5.2.4. Çözüm ve önlemlerin kayıt altına alınması ve görselleştirilmesi.....	42
3.5.2.5. Hata iletişimi ve çözümün uygulanması.....	43
3.5.2.6. Etkinlik ölçümü ve hatanın kapatılması.....	43
3.5.2.7. Eğitim dökümanları hazırlanması ve güncellenmesi.....	44
3.5.2.8. Yönetim tarafından denetim ve standartların kontrolü.....	44
<b>4. UYGULAMA.....</b>	<b>45</b>
4.1. Bulanık Mantık ve Gri Teori Esaslı HTEA .....	45
4.2. Riskler İçin Alınan Önlemler.....	53
4.3. Geleneksel HTEA .....	55
4.4. Duyarlılık Analizi.....	57
<b>5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>63</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>65</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>67</b>



## **KISALTMALAR**

<b>HTEA</b>	: Hata türü ve etkileri analizi
<b>BKS</b>	: Bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama
<b>RÖS</b>	: Risk öncelik sayısı
<b>HTEKA</b>	: Hata türü etkileri ve kritiklik analizi
<b>AHS</b>	: Analitik hiyerarşi süreci
<b>AR-GE</b>	: Araştırma-Geliştirme



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Ortaya çıkma sıklığı faktörü için dereceler .....	9
<b>Çizelge 2.2</b> : Önem faktörü için dereceler .....	10
<b>Çizelge 2.3</b> : Keşfedilebilirlik faktörü için dereceler.....	10
<b>Çizelge 2.4</b> : Geleneksel HTEA eksiklikleri ve bununla ilgili literatürdeki çalışmalar.....	12
<b>Çizelge 2.5</b> : HTEA’da risk değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırması .....	14-15
<b>Çizelge 2.6</b> : Sözel terimler için bulanık derecelendirme.....	20
<b>Çizelge 2.7</b> : Risk faktörlerinin göreceli önemliliği için bulanık ağırlıkların ifadesi .....	22
<b>Çizelge 3.1</b> : 2007–2011 dönemi ülkelere göre motorlu araç üretim rakamları .....	33
<b>Çizelge 3.2</b> : Otomotiv sanayii firmalarının 2011 yılı 12 aylık üretimler .....	35
<b>Çizelge 4.1</b> : Altı hata türünün dört takım üyesi tarafından değerlendirmesi.....	48
<b>Çizelge 4.2</b> : Altı hata türünün dört takım üyesi tarafından grup değerlendirmesi... ..	49
<b>Çizelge 4.3</b> : Bulanık değerlendirme derecelerinin durulaştırılmış rasyonel sayı karşılıkları .....	50
<b>Çizelge 4.4</b> : Durulaştırılmış ve bir araya getirilmiş değerlendirmeler .....	51
<b>Çizelge 4.5</b> : Risk faktörlerinin grup ağırlıkları .....	51
<b>Çizelge 4.6</b> : Geleneksel HTEA’da takım üyelerinin değerlendirmeleri ve RÖS değerleri.....	56
<b>Çizelge 4.7</b> : Risk faktörlerinin yeni grup ağırlıkları.....	57
<b>Çizelge 4.8</b> : Değişen grup ağırlıkları değerleri için yeni ilişkiel derece değerleri. ..	58
<b>Çizelge 4.9</b> : Değişen grup ağırlıkları değerleri için sıralamadaki değişimler .....	58
<b>Çizelge 4.10</b> : Değişen standart seri değerleri için yeni ilişkiel derece değerleri ...	59
<b>Çizelge 4.11</b> : Değişen standart seri değerleri için sıralamadaki değişimler.....	60
<b>Çizelge 4.12</b> : Değişen gri ilişkiel katsayı hesaplamasında kullanılan belirleyici için yeni ilişkiel derece değerleri .....	60
<b>Çizelge 4.13</b> : Değişen gri ilişkiel katsayı hesaplamasında kullanılan belirleyici için sıralamadaki değişimler.....	61



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 2.1</b> : Bulanık mantıkta sözel terimlerin durulaştırılması için yararlanılan üyelik fonksiyonu .....	<b>24</b>
<b>Şekil 2.2</b> : Bulanık ağırlıkların üyelik fonksiyonları .....	<b>24</b>
<b>Şekil 2.3</b> : Gri teori akış şeması .....	<b>26</b>
<b>Şekil 3.1</b> : Dünyadaki motorlu taşıt üretiminin yıllara göre değişimi (milyon adet). <b>32</b>	
<b>Şekil 4.1</b> : Risk önceliklendirme analizi yapılacak hata türlerini belirlemek için yapılan pareto analizi .....	<b>47</b>



## BULANIK MANTIK VE GRİ TEORİ ESASLI HTEA İLE OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İMALATINDA HATA ÖNCELİKLENDİRME

### ÖZET

Yıllık trilyon dolar seviyelerinde cirosu olan otomotiv endüstrisi dünyada en fazla yatırım yapılan, en önemli sektörlerden biridir. Otomotiv sektöründe imalat, oldukça ayrıntılı, geniş ve büyük bir süreçtir. Bu durum, imalat süreçlerinde fazla sayıda ve ciddi risklerin oluşmasına neden olur. Sıfır hata ile bir araç üretmek imkansızdır. Otomotiv ürünlerinin imalatı sırasında çok fazla sayıda kapsam ve iş olduğundan dolayı, müşteriye teslim edilen araçlarda mutlaka hatalar olacaktır. Tespit edilen hataların önceliklendirmesi, ciddi ve büyük hataların belirlenip, bunların tekrar etmemesi için yapılan çalışmalar oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde çıkan hataları önceliklendirmek için yeni bir yaklaşım olan, bulanık mantıkla gri teori esaslı hata türü ve etkileri analizine yer verilmiştir.

Hata türü ve etkileri analizi birçok endüstride yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ürünlerde ve süreçlerde olası hataları oluşmadan önce belirlemek, önceliklendirmek ve eleme yapmak için kullanılan sistematik bir yaklaşım olan bu analiz, risk yönetimi sürecinin ilk iki adımı olan tanımlama ve değerlendirme kısmında yer almaktadır. Bu iki adımda risk yönetimi adına riskler masaya yatırılır ve yapılan analizlerle ve değerlendirmelerle potansiyel önemi büyük riskler ortaya çıkarılır. Çalışmanın ilk bölümünde, risk yönetimi süreci ve bir risk tanımlama ve değerlendirme aracı olarak HTEA yöntemi tanımlanmış, literatürde bu analizle ilgili yapılan çalışmalar gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Son olarak ilk bölümde bu çalışmalar arasından seçilen bulanık mantıkla gri teori esaslı HTEA'nın, klasik yöntemle göre üstün tarafları ele alınmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, Türkiye'de ve dünyada otomotiv endüstrisi hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Otomotiv endüstrisinde, imalatın belirli kurallar çerçevesinde, en iyi şekilde yapılması için sektöre özgü standartlar ve özel sektörün geliştirdiği üretim sistemleri mevcuttur. Toyota üretim sistemi bu sistemler içerisinde en ünlü ve dünyada en yaygın şekilde kullanılan kurallar sistemidir. Bu çalışmada buna ek olarak benzer bir sistem olan kamyon üreten firmaların, Toyota üretim sisteminden uyarladıkları kamyon üretim sisteminden bahsedilmiştir. Bu sistemde kullanılan, imalat süreçlerinde karşılaşılan hataların üzerinde etkin bir şekilde çalışmasını sağlayan hata yönetim sistemi de ele alınmıştır.

Uygulama kısmında otomotiv sektöründe en çok karşılaşılan altı adet hata türü, bulanık mantıkla gri teori kullanılarak hata türü ve etkileri analizi ile önceliklendirilmiştir. Bu analiz, klasik yöntemle göre çok fazla avantaj barındırdığı ve daha kullanışlı, pratik, etkili, esnek olduğu için seçilmiştir. Analizin avantajlarını daha iyi görebilmek için aynı hatalar geleneksel hata türü ve etkileri analizi kullanılarak önceliklendirilmiştir. Sonrasında çalışmada hangi parametrelerin değişiminin analiz sonuçları üzerinde daha etkili olduğunu tespit edebilmek için

duyarlılık analizi yapılmıştır. Herşeyin daha ayrıntılı, bulanık ve karmaşık olduğu yeni dünyada, geleneksel HTEA ile hataları önceliklendirmek gittikçe daha zorlaşmaktadır. Çalışılan yöntem fikir yapılarını kullanarak HTEA takım üyelerinin, uzmanların belirsiz ya da farklılık gösteren değerlendirmelerine olanak sağlamaktadır. Bu durum daha pratik ve süratli çalışarak, risk değerlendirmesinde daha kesin sonuçlar elde etmeye yaramaktadır.



# **RISK PRIORITIZATION IN THE PRODUCTION PART OF AUTOMOTIVE INDUSTRY WITH FMEA USING FUZZY EVIDENTIAL REASONING APPROACH AND GREY THEORY**

## **SUMMARY**

Automotive industry is one of the biggest industries in the world which is invested mostly and has got billion dollars indorsement. Approximately, 50 manufacturer companies operate in 20 countries in the world. Production is very detailed, wide and big process in automotive industry which brings many serious risks in processes of production. It is impossible to produce a vehicle without any defects. Vehicles that are delivered to customers contain defects certainly, because there are many scopes and works in the production of automotive products.

Practices which are about prioritization of the established defects and determination of big and serious defects become importance. Failure mode and effects analysis is used commonly for the prioritization of failures which are established during the production in automotive industry. Because of the some drawbacks and constraints of this analysis with classical method, a new and improved analysis is needed. Many different methods were used for prioritization of failures in the literature. A new approach, failure mode and effects analysis using grey theory and fuzzy evidential approach is handled in this study for the prioritization of defects which are occurred in the automotive industry. After the specific calculations of the new method, failure modes are prioritized more flexible, practical, accurate ve faster compared to classical method.

In the first part of the study, an introduction is stated generally. In the second part of the study risk, risk management, principles, responsibilities and necessities of risk management are defined to understand the core informations of the study. In addition, risk management process and failure mode and effects analysis as a risk identification and assessment tool are defined. Identification and assessment are the first two steps of risk management process that include this analysis which is a systematic approach and used for prioritization, elimination, determination of possible defects of products and processes before occurring. Risks are discussed in detail in these two processes and serious risks are emerged with the analyses and assessments. Other two steps of risk management, application and audit are also mentioned under same topic.

Traditional failure mode and effects analysis is used widely in many industries. Advantages of failure mode and effects analysis using fuzzy evidential approach and grey theory compared to traditional method are mentioned within these studies. Moreover, previous studies are evaluated by classifying. There are five main classifications which are multi-criteria decision making, mathematical programming, artificial intelligence, hybrid approaches and others. Failure mode and effects

analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory is under hybrid approach which is exposed by Liu and etc.

Evidential reasoning approach was first developed in 1994 for dealing with multiple attribute decision analysis problems which include both quantitative and qualitative attributes with various types of uncertainties. Grey theory, proposed by Deng in 1989 deals with decisions characterized by incomplete information which are partially known. It constructs model and uses relation analysis to explore system behaviour. In this method, risk factors are assessed using belief structures and individual belief structures are synthesized into group belief structures. Then, defuzzified group belief structures are aggregated into overall belief structure. These steps are made in evidential reasoning approach. In grey theory, comparative series and standard series are established. Difference between comparative series and standard series is obtained. In addition, grey relational coefficient is computed with these data and finally, degree of relation is computed to rank the failure modes.

In the last topic of the second part, advantages and better sides of failure mode and effects analysis using fuzzy evidential approach and grey theory compared to traditional failure mode and effects analysis are stated. Shortly, studied method provided more useful, practical, effective and flexible way for risk prioritization with failure mode and effects analysis.

In the third part of the study, general information is stated about automotive industry in Turkey and abroad. Numbers and statistics are given to understand the general situation about production of vehicles in the world and position of Turkey in this huge industry. First time in history, total production numbers exceeded 80 millions in 2011 in the world. 80 million vehicles include 58 million automobiles and 22 million commercial vehicles. Turkey is the 17th country in the vehicle production in the world in 2011. China is in the first place of vehicle production in the world since 2009 which is followed by United States of America and Japan.

Some details are stated about the automotive industry of Turkey which includes four main steps of development of automotive industry in Turkey and production numbers of automotive companies in Turkey. Between the years 1960-1980, market was protected and imports are settled. Between the years 1981-1995, a transformation process was begun that aims the production focusing exports. In the third step, free market and total competition ruled between the years 1996-2004. In the final step, from the year 2005 until now new opportunities were taken and this process will continue incrementally.

Some sectoral standards and production systems exist in automotive industries to make production in the highest quality as a part of particular rules. Main valid standard which is used in automotive industry is ISO 16949 quality management system. Aim of this standard is to operate the systems of organizations that supply products or service to automotive industry. As a production system, Toyota production system is most famous and common system in the world. Targets and focus points of this very important system are stated in this part. Target of Toyota production system is to launch the products in best quality level which is met expectations of the customers and being a model in corporate responsibility. Main focus point of Toyota production system is to eliminate the wastes in the production. Other focus points are quality, cost, productivity, safety and professional ethics.

Truck operating system is mentioned additionally which is a similar system like Toyota production system. This system is implemented in companies in which trucks

are produced. Moreover, defects management and its eight steps, quality control cycle in production are also mentioned that provide an efficient study on defects in the processes of production. Identification and registration of defects, classification and prioritization of defects, analysis of defects, visualization of results and precautions, communication and application of solution between departments, measurement of efficiency, preparation of education documents and updating them, audit with management and controls of standards are eight steps of defect management which include some special applications such as A3 problem solution process, poka yoke, pareto and ishikawa diagram, brainstorming. Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential approach and grey theory is considered as a useful method in the second step of the process that is classification and prioritization of defects.

In the fourth part of the study, a quantitative application is made to understand the method better. Six defects which are encountered in automotive industry mostly are prioritized with failure mode and effects analysis using fuzzy evidential approach and grey theory in application part. These defects are scrubbing, unstable, false assembly, weak painting, scratch and welding splash. Three risk factors are used in the calculations which are probability, severity and detectability. In this method, numbers of the risk factors are not limited that means it can be increased if it is needed. Team members work as engineers from different departments such as production, planning, logistic and development in Truck Company. Each team member has got relative weights which are determined how they know the processes and defects of production and how much they are in the production and how they follow and join the defects management system.

In the calculations, defuzzification and nominal average method are utilized to collect the group belief structures and transform them to general belief structures. In the grey theory application, comparative series are obtained in matrix form from the values which are taken from defuzzified belief matrix in fuzzy evidential approach. In this step, standard series is identified again in matrix form and then, difference between these two series is obtained to use in the calculation of grey relational coefficient. Finally, grey relational degrees are calculated for each failure mode by using grey relational coefficients and group weights of risk factors. The smaller the risk priority of failure modes are, the higher the grey relational degrees. After specific calculation of this method six failure modes are prioritized and unstable defect should be considered most important and serious risk according to analysis.

Analysis is chosen because it has more advantages compared to traditional method and it is more useful, practical, efficient and flexible. Same risks are prioritized with traditional failure mode and effects analysis to realize better the advantages of studied analysis. Results of prioritization are different from the results the prioritization of failure mode and effects analysis using fuzzy evidential approach and grey theory. Many drawbacks of traditional failure mode and effects analysis is emerged clearly when two analyses are applied consecutively.

Sensitivity analysis is done to establish which parameters are most efficient to change the results of method. Selected parameters are group weights of risk factors, values of standard series respectively. Calculations for new parameters are made again for six failure modes to observe if there is any radical change in the new results of prioritization. If the detectability of the defects in the production of trucks becomes more important, scrubbing is a more important risk compared to unstable.

Scrubbing becomes also a more important risk compared to unstable when the values of standard series increase.

In the last part, conclusions and suggestions are stated. It is getting difficult to prioritize the failures with traditional failure mode and effects analysis in more complicated, fuzzy and detailed world. The new method provides possibility for failure mode and effects analysis team members to give their uncertain and various ideas for prioritization of risks that corresponds more practical and faster working and more accurate results. That's why, proposed method will be very useful certainly in the production part of the automotive industry if it can be applied and become widespread.

## 1. GİRİŞ

Ayrıntılı, geniş ve büyük bir süreç olan otomotiv ürünleri imalatında, çok fazla sayıda kapsam ve iş olduğundan dolayı fazla sayıda ve ciddi riskler oluşmaktadır. Tespit edilen hataların önceliklendirmesi, önemli hataların belirlenip, bu hataların tekrar etmemesi için yapılan çalışmalar çok önemlidir. Sektörde yaygın olarak hataları önceliklendirmek için, hata türü ve etkileri analizi (HTEA) kullanılmaktadır. Klasik yöntemle yapılan bu analizin içerdiği bazı eksiklikler ve kısıtlamalar nedeniyle, yeni ve daha geliştirilmiş bir analize ihtiyaç duyulmuştur. Bu açığı gidermek için literatürde birçok farklı yöntem kullanılarak hatalar önceliklendirilmiştir.

Çalışmada ilk olarak, çalışmanın temeli olan risk ve risk yönetimi tanımlanmıştır. Otomotiv imalatında ele alınan riskler, operasyonel risk olarak değerlendirilmektedir. Risk yönetimi prensipleri, sorumlulukları ve gereklilikleri ve süreçten söz edilmiştir. Risk yönetimi sürecinin ilk iki adımı olan tanımlama, değerlendirme adımlarında hata türleri ve etkileri analizinden yararlanılmaktadır.

Sonrasında hata türü ve etkileri analizi tanımı yapıp bu sürecin geleneksel olarak nasıl kullanıldığından bahsedilmiştir. Çalışmada aynı bölümde analizin geçmişe yönelik literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Geçmişte hata türü ve etkileri analizi için yapılan çalışmalar beş ayrı başlık altında sınıflandırılmıştır. Bunlar çok kriterde karar verme yaklaşımları, matematiksel programlama yaklaşımları, yapay zeka yaklaşımları, bütünleşik yaklaşımlar ve diğer yaklaşımlar olarak isimlendirilmiştir. Tüm çalışmaların %22.5'i çok kriterde karar verme yaklaşımları sınıfında toplanmıştır. Diğer sınıflandırmalar tüm çalışmaların sırasıyla %8.75, %40.0, %11.25 ve %17.5'ini oluşturmaktadır. Bulanık mantıkla gri teori kullanan hata türü ve etkileri analizi bütünleşik bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir.

Geleneksel hata türü ve etkileri analizi tanımlandıktan sonra, çalışmada işlenen bulanık mantık ve gri teori esaslı hata türü ve etkileri analizi açıklanmıştır. İlk olarak bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama yöntemi grup fikir yapıları ve durulaştırma alt başlıklarıyla işlenmiştir. Bu yöntemin tercih edilme sebebi, kesin olmayan,

tamamlanmamış kararları da değerlendirebilen bir yapıya sahip olmasından dolayıdır. Değerlendirme yapan uzmanlar, bu yaklaşımda kararlarını fikir yapıları cinsinden vermektedirler ve bu durum esneklik ve kolaylık sağlamaktadır.

Gri teori, bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama yönteminden elde edilen değerlendirmeler üzerinde yapılan bir çalışmadır. Bu değerlendirmeleri birbirleriyle başarılı şekilde ilişkilendirdiği ve bu ilişkilendirmeye kurduğu modelle sağlam, kesin bir şekilde sonuç elde edildiği için tercih edilmiştir. Teorinin içerdiği karşılaştırmalı seriler, standart seriler, iki seri arasındaki fark, gri ilişkisel katsayı ve ilişkisel derece formüller yardımıyla açıklanmıştır. Son olarak bu bölümde, işlenen yöntemin geleneksel yöntem olan üstün yönleri ele alınmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, dünyada ve Türkiye'deki otomotiv endüstrisi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Buna bağlı olarak otomotiv endüstrisinin ana damarı, olmazsa olmazı ISO 16949 otomotiv endüstrisi kalite yönetim sistemi ele alınmış ve öneminden bahsedilmiştir. Buna ek olarak, Toyota firmasının dünyaca ünlü Toyota üretim sisteminin amaçlarından ve odak noktalarından söz edilmiştir. Bunun nedeni hatalara alınan önlemlerin ve bunların hayata geçirilmesinin bu sistemin içinde olması ve firmaların bu sistemi ya da kendilerine özgü değişiklikler yapıp farklı isimdeki sistemleri günümüzde kullanmalarınıdır. Bu çalışmada da kamyon imalatındaki hatalar ele alındığından dolayı, kamyon firmasında kamyon üretim sistemi içerisinde uygulanan hata yönetim sistemi detaylı şekilde ele alınmıştır.

Uygulama kısmında ise, kamyon üretimi yapan bir firmada en çok karşılaşılan altı adet hata türü, bulanık mantık ve gri teori esaslı hata türü ve etkileri analizi ile önceliklendirilmiştir. Bu altı hata türü sırasıyla sürtme, gevşek, hatalı montaj, zayıf boya, çizik ve kaynak çapağı hatalarıdır. Hata türleri bu yöntemle özgü hesaplamalar yapıldıktan sonra klasik yöntemle göre daha esnek, pratik, sağlam ve hızlı bir şekilde önceliklendirilmiştir.

Bu analiz, geleneksel yöntemle göre çok fazla avantaj barındırdığı ve daha kullanışlı, pratik, etkili, esnek olduğu için seçilmiştir. Bunu pratikte, detaylı bir şekilde daha iyi görebilmek için hatalar geleneksel yöntemle göre de önceliklendirilmiştir. Bunun dışında standart seri değerleri ve faktör ağırlıkları gibi bazı parametrelerin sonuç üzerindeki etkisinin görülebilmesi için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Bulanık mantık ve gri teori esaslı hata türü ve etkileri analizi, fikir yapılarını kullanarak HTEA takım üyelerinin, uzmanların belirsiz ya da farklılık gösteren değerlendirmelerine olanak sağlamaktadır. Uzmanlara sağlanan bu esneklik daha kesin sonuçların alınmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda bulanık mantıkta alınan, içinde eksik veya tamamlanmamış bilgiler bulunan grup halindeki değerlendirmelerinin herbirini birbiriyle ilişkilendirerek analiz edebilen bir yöntem olan gri teori, bu değerlendirmelerin sonuçlandırmasında oldukça başarılı olmuştur.





## **2. RİSK YÖNETİMİ**

### **2.1. Risk**

Risk hayatın her alanında her zaman bizimle beraberdir. En eski uygarlıklardan başlayarak günümüze kadar risk göz önünde bulundurulmuş ve yönetilmiştir. Risk ölçülebilen bir olasılıkla gelecekteki olaylarda da vardır [1].

Riskin kabul edilmiş tek bir tanımı yoktur. Negatif ve pozitif yönden değerlendirilebilecek tanımları mevcuttur [2]. Risk bir olayın sonuçlarının ve olasılığının birleşimi olarak tanımlanabilir [3]. Bir başka tanımda risk hedefin başarılı olmasına etkisi olabilecek olan bir olay olarak tanımlanmıştır. Risk bir fırsat içerebileceği gibi aynı zamanda bir tehditte içerebilir [4]. Bir diğer tanımda risk olayların ve çıktılarının etrafını saran bir belirsizlik olarak tanımlanmıştır. Bu belirsizliğin hedefin başarısına, beklentilerin karşılanmasına olumlu ya da olumsuz önemli etkileri olabileceği vurgulanmıştır [5].

Üç çeşit risk mevcuttur. Bunlar finansal, operasyonel, yasal risklerdir [1]. Bu çalışmada ele alınacak otomotiv endüstrisinde imalat kısmında oluşan operasyonel risklerdir. Bir organizasyonun eyleminin sonuçlarının, eksik ya da yanlış bir süreç veya insan hatası gibi negatif bir olay ya da çıktı olması operasyonel risk olarak değerlendirilmektedir [6].

Bu çalışmada risk bir negatif olgu olarak ele alınacaktır. Otomotiv endüstrisinde imalat kısmındaki risk, süreç süresince farklı nedenlerden oluşabilecek hatalar, bu hataların tespit edilmeden önce yarattığı belirsizlik ve hataların sonuçlarıdır. Hataların sürece ya da çıktıya etkisi belirsiz olsa da negatif bir etki yaratmaktadır. Ancak otomotiv endüstrisindeki risklerin ve bunların iyi yönetilmesinin başta ürün kalitesi olmak üzere, rekabet ve müşteri memnuniyeti gibi pozitif çıktıları da mevcuttur.

## **2.2. Risk Yönetimi**

Risk yönetimi operasyonel faaliyetlerden oluşan riskleri ortaya çıkmadan önce tanımlayan, değerlendiren ve kontrol eden bir süreçtir [7]. Bir başka kaynakta, risk yönetimi riskleri yönetmek için yapılan tüm ölçümler ve aktiviteler olarak tanımlanmıştır [8].

Risk yönetiminden otomotiv sektörü de dahil olmak üzere, kamu ve özel sektörde birçok alanda faydalanılmaktadır. Risk yönetiminden, kazalardan, negatif etkilerden, kayıplardan kaçınılarak, bir organizasyonun önündeki fırsatlar içindeki uyumsuzlukları gidermekte yararlanır [8].

Risk yönetimi, bir şirketin hedeflerine ulaşmasını ve vizyonunu gerçekleştirmesini etkileyebilecek organizasyon içindeki her türlü aktivite, koşul ve olayla ilgilidir. Birçok organizasyonda risk yönetimi işi üç kategoriye ayrılır. Bunlar stratejik, finansal ve operasyonel risklerin yönetilmesidir. Otomotiv sektöründe imalat kısmında operasyonel risk yönetimi işi yapılmaktadır.

Operasyonel risk normal operasyon durumunu etkileyecek koşulları içerir. Bu koşullara örnek olarak kazalar, kalite sapmaları, hatalar, kusurlar, doğal afetler, sabotaj girişimleri, huzursuz çalışanlar, yetenek kaybı verilebilir. Bu çalışmada, bu koşullardaki hatalar üzerinde durulacaktır [8].

### **2.2.1. Risk yönetimi prensipleri**

Risk yönetimi uygulamaları dört ana prensip üzerinden yürür. Bu prensipler risk yönetimi süreci öncesi, sonrası ve süreç boyunca uygulanabilir yapıdadır. Prensipleri tek tek inceleyecek olursak, öncelikle gereksiz riskin kabul edilmemesi ilk prensip olarak kabul edilmektedir. Gereksiz risk herhangi bir yararlı geri dönüşü olmayan, bir fırsat sağlamayan risklerdir. Herşey risk taşıdığından dolayı bir operasyonu yürütürken en mantıklı hareket, tüm gereksinimleri minimum kabul edilebilir riskle belirlemektir. Yani gerekli risklerle risk yönetimi uygulaması yapılmalıdır.

İkinci olarak, risk kararları uygun seviyede verilmez. Risk kararlarını herkes verebilir ancak uygun bir karar verici, tüm kaynakları pay ederek riskleri bu sayede azaltan ya da tamamen yok eden ve bu süreci kontrol eden kişidir. Karar vericiler, risklerin onay seviyelerini, planlanan operasyonun çeşidine göre belirlemelidirler.

Bir diğer prensip ise, riski yararları maliyetlerinden ağır basınca kabul etmektir. Risk yönetimi uygulamasında tüm tanımlanmış maliyetler ile tüm tanımlanmış faydalar karşılaştırılmalıdır. Çok yüksek risklerle çalışılıyor dahi olsa faydaların toplamının mutlaka maliyetlerin toplamından fazla olması gerekir. Bu iki değişken arasındaki denge karar vericiler tarafından kurulmalıdır.

Son olarak operasyonel risk yönetimini her seviyede planlayarak uygulamak gerekmektedir. Riskler bir operasyonun planlama aşamasında çok daha kolay değerlendirilebilir ve yönetilebilirler. Bu aşamadan sonra yapılacak değişikler çok daha pahalıya mal olacak ve daha fazla zaman kaybettirecektir [9].

### **2.2.2. Risk yönetimi sorumlulukları ve gereklilikleri**

Risk yönetimi ağırlıklı olarak birçok farklı disiplinden ve kademedeki kişilerin katılımıyla yürütülür. Risk yönetimini yürütecek takım oluşturulduğu zaman, konuyla ilgili spesifik bilgisi olan uzman kişilerin dışında, uygun olan uzmanlar kalite, iş geliştirme, mühendislik, imalat, satış, pazarlama gibi farklı bölümlerden çalışmaya dahil olurlar. Karar vericiler, bu heterojen grupla çalışması yapılan, birçok farklı fonksiyon barındıran risk yönetimini koordine etmek için için sorumluluk almalıdırlar. Bununla beraber risk yönetimi sürecinin iyi tanımlandığından, görevlerin iyi bir şekilde dağıtıldığından, kaynakların uygun olduğundan ve sürecin çalışmadan önce iyi planlanıp gözden geçirildiğinden emin olunması gerekmektedir [10].

### **2.2.3. Risk yönetimi süreci**

Tipik bir risk yönetimi süreci dört temel adımı içerir. Bu dört adım artık genel olarak bu süreci kullanan ve bununla ilgili araştırma yapanlar tarafından kabul görmektedir. Bu dört adım süreçte uygulama sırasına göre tanımlama, değerlendirme, uygulama ve izlemedir. Sırasıyla bu adımları açarsak, ilk adım riski tanımlamaktır. Bu adım, gelecekte süreci çevreleyecek belirsizlikleri anlamaya yardımcı olur ve potansiyel risklerin farkına varılarak risk yönetimi sürecinde senaryonun daha etkin yönetilmesini sağlar.

Risk tanımlandıktan sonra bir sonraki adım riski değerlendirmektir. İlk adımda tanımlanan risklerin hangi olasılıkta ortaya çıkabileceği ve sistemde ne tür sonuçlar

doğurabileceğini belirlemek amacıyla yapılır. Bu risklerin olasılıklarını belirlemek kolay bir iş değildir ve ciddi, yoğun bir çalışma gerektirir.

Üçüncü uygulama adımında, risk yönetimi eylemleri hayata geçirilir. Önceden tanımlanmış riskler için riskin oluşma olasılığını ve doğuracağı sonuçların önemini azaltmak adına çeşitli yöntemler kullanılarak risk hafifletme çalışması yapılır.

Son adımda ise riskler oluştuğu zaman tespit edilmeleri için sistem denetlenir ve buna risk izleme adımı adı verilmektedir. Endüstride bu dört adımlık risk yönetimi metodolojisini uygulayan firmaların en çok tercih ettikleri risk analizi yöntemi hata türü ve etkileri analizi (HTEA) yöntemidir [11].

### **2.3. Risk Yönetimi Süreci Analizinde Risk Önceliklendirme Aracı Olarak HTEA**

#### **2.3.1. HTEA tanımı**

Hata biçimleri ve etkileri analizi, ürünlerde ve süreçlerde olası hataları oluşmadan önce belirlemek, önceliklendirmek ve eleme yapmak için kullanılan sistematik bir yaklaşımdır. Bu yöntemden mühendisler, bir süreçte ya da bir üründe yanlış giden ne olabilir, yanlış gitmesine neden ne olabilir ve bu yanlışın etkileri ne olabilir sorularına cevap vermek için yararlanırlar [12].

Yukarıdaki tanıma ek olarak, HTEA ürün ve süreçlerin zayıf taraflarını tespit edip engellemek ve bunların varlığını önlemek için kullanılan bir araçtır. Yarı sayısal, aşağıdan yukarıya tetikleyici bir ekip çalışması gerektiren yaklaşımdır. Bu yöntem, ürün ya da sürecin kalitesini ve dayanıklılığını artırır, müşteri memnuniyetini ve güvenliğini yükseltir, potansiyel ürün veya süreç hata biçimlerinin erken teşhis edilmesini ve eleme yapılmasını sağlar. Bunlara ek olarak gelişim için ürün veya süreç eksikliklerini önceliklendirir, mühendislik veya organizasyon bilgisi elde edilmesini sağlar, problemlerden korunmaya önem verir, riskleri ve yapılan aksiyonları, oluşabilecek riskleri azaltmak için dökümanete eder, gelişim için odaklanma sağlar, geç değişimleri, süreç değişim zamanlarını ve maliyeti azaltır, fonksiyonlar arası takım çalışması ve fikir değişimleri için kataliz görevi görür ve herşeyin kayıt altına alınmasını sağlar [12].

Klasik HTEA yönteminde üç adet risk faktörü vardır. Bunlar hatanın keşfedilebilirliği, önemi ve ortaya çıkma sıklığıdır [13]. Bu risk faktörleri için

kullanılan değerlendirme dereceleri dokuz farklı kademeye ayrılmıştır. Mesela keşfedilebilirlik için kademeler 10'dan 1'e doğru sıralanacak olursa; kesinlikle belirsiz, dolaylı, çok az, az, orta, orta yüksek, yüksek, çok yüksek, kesin belirli olarak ifade edilebilir. Bu ifadeler kaynaktan kaynağa farklılık gösterebilir. Hata biçimlerinin önemi için ise; tehlikeli, ciddi, aşırı, çok önemli, önemli, orta, düşük olasılıkta, az, çok az ve hiç olarak sıralanabilir. Hataların ortaya çıkma sıklığı için ise; çok aşırı, çok yüksek, tekrar eden derecede, yüksek, orta yüksek, orta, görece az, az, dolaylı ve neredeyse imkansız olarak sıralanır [14]. **Çizelge 2.1**, **çizelge 2.2** ve **çizelge 2.3**'te üç risk faktörü için hangi kriterlerde nasıl bir seviyelendirme yapılıyor görülmektedir [15].

**Çizelge 2.1** : Ortaya çıkma sıklığı faktörü için dereceler.

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

**Çizelge 2.2 : Önem faktörü için dereceler.**

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

**Çizelge 2.3 : Keşfedilebilirlik için dereceler.**

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

### 2.3.2. Geleneksel HTEA

Geleneksel HTEA’da, hata biçimlerinin risk önceliklerine, risk öncelik sayıları kullanılarak karar verilir. **Denklem 2.1**’de belirtildiği gibi her bir hata biçimi için, hatanın ortaya çıkma sıklığı (O), önemi (Ö) ve keşfedilebilirliği (K) birbirleriyle çarpılır ve risk önceliği sayısı bulunur [12].

$$R\ddot{O}S = O \times \ddot{O} \times K \quad (2.1)$$

Geleneksel HTEA birçok kısıtlama barındırmaktadır ve birçok yaklaşım geleneksel RÖS yönteminin kısıtlamalarını aşmak için geliştirilmiştir ve kullanılmıştır. Geleneksel HTEA'nın en önemli kısıtlamaları olarak, O, Ö ve K değerleri arasında göreceli önemlilik katsayılarının göz ardı edilmesi, yine O, Ö ve K değerlerinin değişik kombinasyonlarının tam olarak aynı RÖS değerini verebilmesine rağmen bu değerlerin saklı olan risklerinin tamamen farklı olması, bu üç risk faktörünü tam olarak değerlendirmenin zor olması, RÖS değeri hesaplanırken kullanılan matematiksel formülün kuşkulu ve sorgulanabilir olması, birçok çeşitli hata biçimleri ve etkilerinin birbiriyle ilişkili olmasının hesaba katılmaması, risk faktörü değerlendirmelerinde RÖS hesaplamak için kullanılan matematiksel formun değişimlere çok hassas olması, RÖS elementlerinin birçoğunun aynı, kopyalanmış değere sahip olması ve son olarak RÖS'nin güvenilirlik adına sadece üç risk faktörüne sahip olması olarak sıralanabilir [16].HTEA ile ilgili geçmişte yapılan çalışmalarda tespit edilen eksiklikler **çizelge 2.4**'te gösterilmiştir [14].

**Çizelge 2.4 : Geleneksel HTEA eksiklikleri ve bununla ilgili literatürdeki çalışmalar.**

Eksiklikler	Literatür	Toplam sayı
O, Ö ve K değerleri arasında göreceli önemliliklerinin göz ardı edilmesi	Wang vd. (2009b), Chin vd. (2009a, 2009b), Liu vd. (2011, 2012), Gargama and Chaturvedi (2011), Kutlu and Ekmekçioğlu (2012), Zhang and Chu (2011), Yang vd. (2008), Braglia vd. (2003a, 2003b), Sharma vd. (2005, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d, 2008a, 2008b, 2008c), Sharma and Sharma (2012, 2010), Chang and Cheng (2011, 2010), Chang and Wen (2010), Chang vd. (2010, 1999, 2001), Seyed-Hosseini vd. (2006), Tay and Lim (2010, 2006a), Keskin and Zkan (2009), Pillay and Wang (2003), Bowles and Peláez (1995), von Ahsen (2008), Carmignani (2009), Xiao vd. (2011), Franceschini and Galetto (2001), Nepal vd. (2008), Sankar and Prabhu (2001), Zammori and Gabbrielli (2011), Abdelgawad and Fayek (2010), Shahin (2004), Puente vd. (2002), Garcia vd. (2005), Chang and Sun (2009)	45
O, Ö ve K değerlerinin değişik kombinasyonlarının tam olarak aynı RÖS değerini verebilmesine rağmen bu değer in saklı olan risklerinin tamamen farklı olması	Wang vd. (2009b), Chin vd. (2009a, 2009b), Liu vd. (2011, 2012), Gargama and Chaturvedi (2011), Kutlu and Ekmekçioğlu (2012), Zhang and Chu (2011), Yang vd. (2008), Braglia vd. (2003b), Sharma vd. (2005, 2007a, 2007b, 2007c, 2007d, 2008a, 2008b, 2008c), Sharma and Sharma (2012, 2010), Tay and Lim (2010, 2006a), Keskin and Zkan (2009), Pillay and Wang (2003), Chen (2007), von Ahsen (2008), Carmignani (2009), Franceschini and Galetto (2001), Chang vd. (1999, 2001), Shahin (2004), Puente vd. (2002), Chang and Sun (2009)	33
Bu üç risk faktörünü tam olarak değerlendirmenin zor olması	Wang vd. (2009b), Chin vd. (2009a, 2009b), Liu vd. (2011, 2012), Gargama and Chaturvedi (2011), Kutlu and Ekmekçioğlu (2012), Yang vd. (2008), Braglia vd. (2003a, 2003b), Sharma vd. (2005), Chang vd. (2010), Xu vd. (2002), Braglia (2000), Yang vd. (2011), Chen and Ko (2009a, 2009b), Zammori and Gabbrielli (2011), Abdelgawad and Fayek (2010), Garcia vd. (2005)	21
RÖS değeri hesaplar ken kullanılan matematiksel formülün kuşkulu ve sorgulanabilir olması	Chin vd. (2009a, 2009b), Liu vd. (2011, 2012), Gargama and Chaturvedi (2011), Kutlu and Ekmekçioğlu (2012), Braglia vd. (2003a, 2003b), Geum vd. (2011), Chang vd. (1999, 2001), Puente vd. (2002), Ben-Daya and Raouf (1996), Gilchrist (1993)	14
Birçok çeşitli hata biçimleri ve etkilerinin birbiriyle ilişkili olmasının hesaba katılmaması	Xu vd. (2002), Chin vd. (2008), Braglia vd. (2007), von Ahsen (2008), Carmignani (2009), Nepal vd. (2008), Zammori and Gabbrielli (2011), Shahin (2004), Chang and Sun (2009), Gandhi and Agrawal (1992)	10
Risk faktörü değerlendirmelerinde RÖS hesaplamak için kullanılan matematiksel formun değişimlere çok hassas olması	Chin vd. (2009b), Liu vd. (2011, 2012), Gargama and Chaturvedi (2011), Kutlu and Ekmekçioğlu (2012), Yang vd. (2008), Braglia vd. (2003a, 2003b), Chang (2009)	9
RÖS elementlerinin birçoğunun aynı, kopyalanmış değere sahip olması	Gargama and Chaturvedi (2011), Chang and Cheng (2011, 2010), Chang vd. (2010), Chang (2009), Seyed-Hosseini vd. (2006), Sankar and Prabhu (2001), Garcia vd. (2005), Chang and Sun (2009)	9



### 2.3.3. HTEA literatür taraması

Hata biçim ve etkileri analizi ilk olarak 1960'larda hava-uzay endüstrisi için geliştirilmiştir. Olası hataları değerlendirmede ve bunların oluşmadan önlenmesinde güçlü ve yararlı araç olduğunu kanıtlamıştır. O zamandan beri, hava-uzay, nükleer ve otomotiv endüstrileri gibi geniş çapta endüstride, güvenli ve uzun ömürlü bir araç olarak ürünlerin ve süreçlerin analiz edilmesinde kullanılmıştır [12].

Literatürde risk önceliklendirme modellerinin büyük bir çoğunluğu, HTEA süreçlerinin kritiklik analizini geliştirmek için bulunmuştur. Kritiklik analizi, her bir potansiyel hata türünün, hatanın önem ve ortaya çıkma sıklığı ile birlikte değerlendirilmesidir [17]. Daha önceki tanımlanmış hata biçimi önceliklendirme yöntemlerine dayanarak yeni bir sınıflandırma modeli ortaya konmuştur. Yöntemler literatürde beş kategoriye ayrılmıştır. Bunlar çok kriterde karar verme, matematiksel programlama, yapay zeka, hibrid yaklaşımlar ve diğerleri olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmalar ve şu ana kadar HTEA ile ilgili yapılan çalışmalar **çizelge 2.5**'te gösterilmiştir [14]. Bu çalışmada yararlanılan ana kaynak ve uygulanan yaklaşım, birleştirilmiş yaklaşımlar sınıfında bulunan Liu ve diğerlerinin sunduğu bulanık mantık ve gri teori esaslı yaklaşımıdır.

**Çizelge 2.5 : HTEA’da risk değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırması.**

Kategoriler	Yaklaşımlar	Literatür	Toplam Sayı
MCDM (22.50%)	- ME-MCDM - Kanıt teorisi - AHP/ANP - Bulanık TOPSIS - Gri teori - DEMATEL - Sezgisel bulanık küme - Derecelendirme tekniği - VIKOR	- Franceschini and Galetto (2001) - Chin vd. (2009b), Yang vd. (2011) - Braglia (2000), Carmignani (2009), Hu vd. (2009), Zammori and Gabrielli (2011) - Braglia vd. (2003b) - Chang vd. (1999, 2001), Sharma vd. (2008b, 2007d), Pillay and Wang (2003), Sharma and Sharma (in press), Geum vd. (2011) - Seyed-Hosseini vd. (2006) - Chang vd. (2010) - Liu vd. (2012)	1 2 4 1 7 1 1 1
Matematiksel programlama (8.75%)	- Lineer programlama - DEA /Bulanık DEA	- Wang vd. (2009b), Gargama and Chaturvedi (2011), Chen and Ko (2009a, 2009b) - Garcia vd. (2005), Chang and Sun (2009), Chin vd. (2009a)	4 3
Yapay zeka (40.00%)	- Kural temelli sistem - Bulanık kural temelli sistem - Bulanık ART algoritması - Bulanikkavramsal harita	- Sankar and Prabhu (2001) - Bowles and Peláez (1995), Moss and Woodhouse (1999), Xu vd. (2002), Zafiroopoulos and Dialynas (2005), Chin vd. (2008), Nepal vd. (2008), Puente vd. (2002), Pillay and Wang (2003), Yang vd.(2008), Gargama and Chaturvedi (2011), Braglia and Bevilacqua (2000), Braglia vd. (2003a), Tay and Lim (2006a, 2010), Sharma vd.(2005, 2007a 2007b, 2007c, 2007d, 2008a, 2008b, 2008c), Sharma and Sharma (2010, 2012), Guimarães and Franklin Lapa (2004), Guimarães and Lapa (2004, 2006, 2007), Guimarães vd. (2011) - Keskin and Zkan (2009) - Peláez and Bowles (1996)	1 29 1 1

**Çizelge 2.5 (devam) : HTEA’da risk değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırması.**

Birleştirilmiş yaklaşımlar (11.25%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bulanık AHP-Bulanık temelli sistem</li> <li>- WLSM-MOI-Kısmı derecelendirme yöntemi</li> <li>- OWGA operatör-DEMATEL</li> <li>- IFS-DEMATEL</li> <li>-Bulanık OWA operatör-DEMATEL -2-değişkenli-OWA operatör</li> <li>- BKS-Gri teori</li> <li>-Bulanık AHP-bulanık TOPSIS</li> <li>- ISM-ANP-UPN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abdelgawad and Fayek (2010)</li> <li>- Zhang and Chu (2011)</li> <li>- Chang (2009)</li> <li>- Chang and Cheng (2010)</li> <li>- Chang and Cheng (2011)</li> <li>- Chang and Wen (2010)</li> <li>- Liu vd. (2011)</li> <li>- Kutlu and Ekmekçioğlu (2012)</li> <li>- Chen (2007)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> </ul>
Diğer yaklaşımlar (17.50%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maliyet temelli model</li> <li>- Monte Carlo simülasyonu</li> <li>- Minimum kesim kümeleri teorisi (MCS)</li> <li>- Boolean temsil yöntemi (BRM)</li> <li>- Diyagram ve matris yaklaşımı</li> <li>- Kano modeli</li> <li>- Kalite fonksiyonel yerleştirme (QFD)</li> <li>- Olasılık teorisi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gilchrist (1993), Ben-Daya and Raouf (1996), von Ahsen (2008), Kmenta and Ishii (2004), Dong (2007), Rhee and Ishii (2003)</li> <li>- Bevilacqua vd. (2000)</li> <li>- Xiao vd. (2011)</li> <li>- Wang vd. (1995)</li> <li>- Gandhi and Agrawal (1992)</li> <li>- Shahin (2004)</li> <li>- Braglia vd. (2007), Tan (2003)</li> <li>- Sant’Anna (2012)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>6</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>1</li> <li>2</li> <li>1</li> </ul>

### 2.3.3.1.Çok kriterde karar verme yaklaşımları

Çok kriterde karar verme ile ilgili literatürde 18 çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı aşağıda detaylandırılmıştır.

Franceschini and Galetto HTEA’da keyfi and yapay sayısal dönüştürmeye gerek olmadan,uzmanlardan elde edilen normalde niteliksel değerlerle verilen bilgilerle,risk önceliklendirme hesabı yapmak için çoklu-uzman tekniğini getirmişlerdir. Chang, Cheng hataları önceden önceliklendirmek için HTEKA sisteminde sezgisel bulanık küme derecelendirme tekniğinden yararlanan bir yaklaşım geliştirdi. Chin ve diğerleri grup temelli bir yaklaşım esaslı,aralıklar, bilgi eksikliği ve tamamlanmamış değerlendirme gibi farklı tipte belirsizlikler altında HTEA takım üyelerinin farklı fikirlerini yakalayabilmek için, hata türlerini önceliklendiren bir HTEA önermiştir.

Braglia, Frosolini, and Montanari HTEKA için, bulanık teknikkullanılan, alternatif bir çok nitelikli karar verme yaklaşımı geliştirmiştir. Geum, Chove Park potansiyel hataları tanımlamak ve değerlendirmek için sistematik bir yaklaşım olan servis spesifik HTEA ve gri ilişkisel analizi geliştirdi. Seyed-Hosseini, Safaei, and Asgharpour bir HTEA sisteminde, hata türlerini düzeltici faaliyetler için karar verme denemesi ve değerlendirme laboratuvarı olarak adlandırılan bir yöntem geliştirdi.

Chang, Wei ve Lee HTEA için bulanık yöntem ve gri teori kullandılar. Bu yaklaşımda risk faktörlerini (O, Ö ve K) değerlendirmek için bulanık sözel değişkenler kullanıldı ve potansiyel risklerin önceliklendirmesine karar vermek için ise gri ilişkisel analiz uygulandı. Zammori ve Gabrielli kritiklik değerlendirmesinde, hataların esas nedenleri arasında olası etkileşimleri hesaba katan, standart HTEKA’nın kapasitesini yükselten, HTEKA’nın geliştirilmiş versiyonu olan analitik şebeke süreci olarak isimlendirilen yaklaşımı geliştirdiler.Braglia risk faktörlerini karar kriteri olarak, hataların olası nedenlerini karar alternatifleri olarak ve hatanın nedeninin seçimini karar hedefi olarak gören analitik hiyerarşi sürecitekniği temelli, çok nitelikli hatatürü analizi yaklaşımı geliştirdi. Liu, Liu, Liuve Mao HTEA’daki risk faktörlerine göre hata türlerinin önceliklendirme amacıyla, kompleks sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilen bir yöntem uyguladı [14].

### **2.3.3.2. Matematiksel programlama yaklaşımları**

Matematiksel programlama kullanılarak literatürde yedi HTEA çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalardan birinde, Chang ve Sun bir veri örtme analizi geliştirdi ve HTEA'nın değerlendirme kapasitesini arttırmak için bunu uyguladı.

Ek olarak, Garcia, Schirru ve Frutuoso Emelo HTEA için tipik risk faktörlerinin (O, Ö ve K) bulanık kümeler olarak modellendiği, bulanık veri çevreleme analizi yaklaşımını geliştirdi. Bulanık veri örtme analizi modeli, hata türleri arasında değerlendirme indisine karar vermek için Lertworasirikul, Fang, Joines ve Lw Nuttle tarafından bulundu. Wang, Chin, Poon ve Yang reel uygulamalarda geçerli olmayan ve risk önceliklendirmesi gerektiren problemlerle karşılaştığında, bunları çözmek ve hata türlerini önceliklendirmek için bulanık risk önceliklendirme numaralarını geliştirdi [14].

### **2.3.3.3. Yapay zeka yaklaşımları**

Yapay zeka yaklaşımıyla uygulanan HTEA yöntemi dörde ayrılmaktadır. Bunlar kurala dayalı sistem, bulanık kurala dayalı sistem, bulanık algoritma ve bulanık kavramsal harita ile yapılan çalışmalardır.

Kurala dayalı sistemde yapılan tek çalışma Sankar ve Prabhu'nun çalışmasıdır. HTEA sisteminde 1000 olası önem-ortaya çıkma olasılığı-keşfedilebilirlik kombinasyonunu temsilen, risk önceliklendirme derecesini (RÖS) 1 ve 1000 dereceleri arasında kullanan, hataları önceliklendirmek için modifiye edilmiş bir yaklaşım geliştirmiştir.

Bulanık kurala dayalı sistem ile yapılan çalışmalarda, Gargama ve Chaturvedi hata türlerini önceliklendirmek ve geleneksel HTEA'nın bazı sınırlamalarını aşmak için, eşleşme ve bulanık mantık esaslı bir bulanık HTEA modeli sunmuştur. Bowles ve Peláez ise HTEKA sisteminde hataların riskliliğini ve O, Ö, K risk faktörlerini tanımlamak için sözel değişkenler kullanan, hataların önceliklendirmesi için bir bulanık mantık esaslı yaklaşım tanımlamıştır. Yang, Bonsall ve Wang HTEA'da hataların önceliklendirilmesi için bulanık temelli Bayesian kuralını kullanan bir yaklaşım sunmuştur. Pillay ve Wang O, Ö ve K faktörlerini tanımlamak için herhangi bir fonksiyon gerektirmeyen bulanık temelli bir yaklaşım geliştirmiştir. Puente, Pino, Priore ve de la Fuente hataların potansiyel nedenlerinin risklerinin

değerlendirilmesini sağlayan, niteliksel kural temelli bir kritiklik değerlendirme yaklaşımı geliştirmiştir. Braglia ve Bevilacqua ise bulanık kritiklik değerlendirme modeli için kurallar elde etmeyi sağlayan AHS kullanımını öne sürmüşlerdir.

Bulanık algoritma kullanarak Keskin ve Özkan HTEA'da RÖS'yi değerlendirmek için bulanık uyarlanabilir rezonans teorisi sinirsel şebekeyi uyguladılar.

Son olarak, Pela'ez ve Bowles bulanık kavramsal haritaları, HTEA sisteminin davranışlarını modellemek için uyguladılar [14].

#### **2.3.3.4. Bütünleşik yaklaşımlar**

Bütünleşik yaklaşımlarla literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Liu ve diğerleri HTEA'da bulanık temelli bir yaklaşım ve gri teori kullanarak bir risk önceliklendirme modeli geliştirmiştir. HTEA takım üyelerinin farklı ve belirsiz yorumlarını modellemek için, bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama (BKS) yönteminden yararlanılmıştır. Gri ilişkisel analizle ise hata türlerinin risk önceliklendirmesine karar verilmiştir. Bu çalışmada kullanılacak yaklaşım ve yararlanılacak ana kaynak bu çalışmadır.

Chang ve Cheng ve Chang geliştirdikleri yaklaşımla, her hata nedeni sadece bir potansiyel hata türü olarak atanırsa, elde edilen risk derecelendirme değerlerinin, geleneksel RÖS yönteminden elde edilenlere karşılık geleceğini ortaya atmıştır. Kutlu ve Ekmekçiöglü bulanık AHS yöntemi ile birleştirilmiş bir yöntemle HTEA için, uzmanlara O, Ö ve K faktörlerine karar verirken, sözel değişkenler kullanabilmelerine fırsat tanıyan, bulanık yaklaşım öne sürmüşlerdir. Abdelgawad ve Fayek bulanık HTEA ve bulanık AHS'yi birleştirerek kullanan inşaat endüstrisindeki HTEA uygulamasını, risk yönetimi temelli genişlettiler. Chang ve Wen ürün dizaynı hata türü ve etkileri analizinde hataların risk önceliklendirmesi için, çeşitli teknikleri birleştiren bir yaklaşım sunmuştur. Zhang ve Chu ise, küçük kareler yöntemi, kısmi derecelendirme yöntemi ve kesin olmama yöntemini birleştirirken, belirsizlik durumunda kullanılmak üzere HTEA için bulanık RÖS temelli yöntemi tanımladılar [13].

### **2.3.3.5. Diğer yaklaşımlar**

Diğer yaklaşımlar sınıfında yer bulan, yukarıdaki sınıflandırmalara dahil olmayan çalışmalarda, Bevilacqua, Braglia ve Gabrielli RÖS değerlerini ölçmek için geliştirilmiş HTEKA ve Monte Carlo simulasyonu arasında, ilişki temelli bir metodoloji sunmuştur. Wang, Ruxton ve Labrie aşağıdan yukarıya tetikleyici, HTEKA ve Boolean yöntemini birleştiren bir risk tanımlama ve değerlendirme metodolojisi sunmuştur. Şahin HTEA kapasitesini arttırmak için, bu yöntemi Kano modeliyle birleştirerek bir yaklaşım sunmuştur.

Gilchrist HTEKA'nın geleneksel kritiklik değerlendirmesini geliştirmiştir ve beklenen maliyet modeli ortaya koymuştur. Dong geleneksel HTEA yönteminin dezavantajlarını aşmak için maliyetleri bulanık olarak değerlendirmeye olanak veren, araç temelli HTEA analizi geliştirmiştir. Xiao, Huang, Li, He ve Jin hatalarının önemini ve sistem içindeki etkilerinin değerlendirmesinde hesaba katarak, çoklu hata türlerini tek bir türde birleştirmeye yarayan bir HTEA yöntemi geliştirmiştir.

Sant'Anna potansiyel hatalarda bir olasılık değerlendirme ölçümü yapmak için, HTEA'nın önem, orta çıkma sıklığı ve keşfedilebilirlik kriterlerindeki sayısal değerlendirmelerden elde edilen bir yöntem geliştirmiştir. Rhee ve Ishii riskleri sadece maliyet terimleri cinsinden ölçen, yaşam maliyet temelli HTEA geliştirmiştir. Gandhi ve Agrawal grafikler ve matris yaklaşımı kullanan mekanik ve hidrolik sistemlerde kullanılan HTEA için bir yöntem geliştirmiştir [14].

### **2.4. Bulanık Mantık ve Gri Teori Esaslı HTEA**

Önerilen HTEA yönteminin odak noktası fikir yapılarını kullanarak risk faktörlerini değerlendiren, kişisel fikir yapılarını grup yapılarına sentezleyen, bulanık mantıkta ölçülebilir grup fikir yapılarını tüm fikir yapılarıyla bir araya getiren, karşılaştırmalı ve standart seriler kuran, bu seriler arasında farkı elde eden, gri ilişkili katsayıyı, ilişki derecesini hesaplayan ve hata biçimlerini bu ilişki derecelerini baz alarak önceliklendiren, bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama (BKS) yaklaşımı ve gri teori esaslı risk önceliklendirme modeli geliştirilmiş olmasıdır [16].

### 2.4.1. Bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama (BKS)

Klasik HTEA'da değerlendirilen üç risk faktörü olasılık, keşfedilebilirlik ve önemlidir. Bulanık mantıklı yaklaşımda daha fazla risk faktörü ile sayısal ya da sözel olarak değerlendirme konusunda bir sınır olmamasına karşın, tüm hata türleri yine bu üç risk faktörü ile değerlendirilecektir. HTEA'da grup üyelerinin kararı her zaman kesin olmayabilir. Kesin olmayan, tamamlanmamış kararları da değerlendirebilen bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır, o yüzden uzmanlar bulanık mantık yaklaşımında kararlarını fikir yapıları cinsinden vermektedirler. Fikir yapılarıyla değerlendirme yapılan bulanık mantık yaklaşımı, klasik RÖS hesaplamasına göre daha kolay kullanım ve uzmanların fikirlerini daha esnek bir şekilde ifade etmesine olanak sağlar. Fikir yapıları, çoğunlukla çoklu karar verme analizinde kullanılan, fikirlerin dağıtılmış bir değerlendirmesidir. Bir kriter üzerinde alternatif seçenekleri temsil eder [18].

Bu yaklaşımla aynı zamanda risk faktörleri daha iyi bir şekilde ölçülmektedir. Risk faktörlerinin değerlendirmesi aşağıdaki bulanık kümedeki derecelerle yapılır.

$$H_F = \{H_{11}, H_{22}, H_{33}, H_{44}, H_{55}\}$$
$$= \{\text{Çok az, Az, Orta, Yüksek, Çok yüksek}\}$$

Bu küme, değerlendirme aralığını daha değişken ve esnek hale getirmek için genelleştirilir. Bu durumda  $H_F = \{H_{ij}, i=1, \dots, 5; j=1, \dots, 5\}$  aralığında değerlendirme yapılabilir.

Sözel terimler için bulanık derecelendirme **çizelge 2.6**'ya uygun şekilde yapılır. Bu çizelgedeki değerler ikizkenar yamuk şeklindeki bulanık numaralar diyagramından alınır. Mesela “düşük” değerlendirilmesi çizelgede ifade edilen fikir yapılarından,  $\{(H_{22}, 1.0)\}$  şeklinde ifade edilir.

**Çizelge 2.6 :** Sözel terimler için bulanık derecelendirme.

Sözel terimler	Bulanık Sayılar
Çok düşük	(0,0,1,2)
Düşük	(1,2,3,4)
Orta	(3,4,6,7)
Yüksek	(6,7,8,9)
Çok yüksek	(8,9,10,10)



Bulanık mantık yaklaşımının klasik yaklaşıma göre getirdiği yenilik, iki derece arasında değerlendirmeye imkân tanınmasıdır. Örnek olarak bir uzman yüksek orta arasında bir derecede değerlendirme yapmak istediğinde, toplam 1.0 olacak şekilde orta olan dereceye 0.7 ağırlık, yüksek olan dereceye ise 0.3 ağırlık vererek değerlendirme  $\{(H_{33},0.7), (H_{44},0.3)\}$  şeklinde ifade edilebilir.

Tamamlanmamış ifadelerde yine bu yaklaşımda değerlendirilebilir.  $\{(H_{33},0.5),(H_{44},0.3)\}$  ifadesinde 0.2 değeri kadar toplamda eksik vardır. Yaklaşımda bu değer göz ardı edilir ya da en yüksek ile en düşük arasında bir dereceye atanarak değerlendirmeye alınır.

Yaklaşımın getirdiği bir başka kolaylık ve esneklik, yine aynı örnek ile gösterilecek olursa, yüksek ve orta olan iki derece arasında bir değerlendirme yapıldığında, bu ifade  $\{(H_{34},1.0)\}$  şeklinde yazılabilir. Son olarak bir kişi hata türü ile ilgili herhangi bir karar vermek istemediğinde ya da kararsız kaldığında yaklaşım buna imkan vermektedir. Değerlendirme ya en düşük ve en yüksek arasında herhangi bir yerde,  $\{(H_{15},1.0)\}$  şeklinde ifade edilir ya da tamamen göz ardı edilir [16].

#### 2.4.1.1. Grup fikir yapıları

Bir HTEA takımında L tane risk faktörüne ( $RF_1, \dots, RF_L$ ) göre N tane hata türünden ( $HT, \dots, HT_N$ ) sorumlu K tane üye ( $TÜ_1, \dots, TÜ_K$ ) olduğunu varsayalım. Her takım üyesinin takım içindeki önemini belirten bir ağırlığı vardır. Bu ağırlık  $\lambda_k > 0$  ( $k=1, \dots, K$ )  $\sum_k^K \lambda_k = 1$  şeklinde ifade edilir. Takım üyelerinin ağırlıklarına karar vermek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada bu değerlere gelişigüzel karar verilecektir. Risk faktörlerinin ağırlıkları  $\tilde{w}_l^k = (w_{la}^k, w_{lb}^k, w_{ld}^k)$  şeklinde ifade edilir. Bu değerler takım üyeleri tarafından hata türlerinin önceliklendirmesine karar verirken belirlenir. Dereceler **çizelge 2.7**'deki bulanık sözel terimlere göre karar verilir.

**Çizelge 2.7 :** Risk faktörlerinin göreceli önemliliği için bulanık ağırlıkların ifadesi.

Sözel terimler	Bulanık Sayılar
Çok düşük	(0,0,0.25)
Düşük	(0,0.25,0.5)
Orta	(0.25,0.5,0.75)
Yüksek	(0.5,0.75,1)
Çok yüksek	(0.75,1,1)

K tane takım üyesinin ayrı ayrı değerlendirdiği risk faktörünün grup ağırlığını hesaplamak için **denklem 2.2**'den yararlanılır.

$$\tilde{w}_l = \sum_{k=1}^K \lambda_k \tilde{w}_l^k = (\sum_{k=1}^K \lambda_k w_{la}^k, \sum_{k=1}^K \lambda_k w_{lb}^k, \sum_{k=1}^K \lambda_k w_{ld}^k) \quad (2.2)$$

$l=1, \dots, L$

Risk faktörlerinin grup ağırlıklarının durulaştırılması için **denklem 2.8**'den yararlanılır, daha sonra **denklem 2.3** ile normalleştirilir.

$$\tilde{w}_l = \frac{w_l}{\sum_{l=1}^L w_l} \quad l=1, \dots, L \quad (2.3)$$

$\{(H_{ij}, \beta_{ij}^k (HT_n, RF_1)), i=1, \dots, 5 ; j=1, \dots, 5\}$  eşitliği fikir yapılarını ifade etmektedir. Fikir yapıları hata türlerini değerlendirmek için, risk faktörlerine göre takım üyeleri tarafından üretilir.  $H_{ii}$   $i=1-5$  risk değerlendirmesi için bulanık değerlendirme dereceleridir.  $H_{ij}$  ise  $i=1-4$  ve  $j= i+1$  'den 5'e kadar,  $H_{ii}$  ve  $H_{jj}$  arasındaki bulanık değerlendirme dereceleri aralığıdır.  $\beta_{ij}^k (HT_n, RF_1)$  ise fikir dereceleridir. Tüm dereceler ve aralıklar aşağıdaki yapıda ifade edilir.

$$\hat{H}_F = \{H_{ij}, i=1, \dots, 5 ; j=1, \dots, 5\} \quad (2.4)$$

Her bir hata türü için risk faktörlerine göre her takım üyesinin yaptığı toplu değerlendirme ise grup fikir yapıları olarak değerlendirilir.

$$\tilde{X}_n(1) = \{(H_{ij}, \beta_{ij}^k (HT_n, RF_1)), i=1, \dots, 5 ; j=1, \dots, 5\} \quad (2.5)$$

$n=1, \dots, N \quad l=1, \dots, L$

Bu eşitlikte  $\beta_{ij}^k (HT_n, RF_1)$  grup fikir derecesidir. **Denklem 2.6**'dan yararlanılarak hesaplanır.

$$\beta_{ij}^k (HT_n, RF_1) = \sum_{k=1}^K \lambda_k \beta_{ij}^k (HT_n, RF_1) \quad (2.6)$$

$i = 1, \dots, 5 \quad j = 1, \dots, 5 \quad n = 1, \dots, N \quad l = 1, \dots, L$

Grup fikir derecelerinin matris formundaki ifadesi **denklem 2.7**'deki gibidir.

$$\tilde{X} = \begin{matrix} HT_1 & \tilde{X}_1(1) & \tilde{X}_1(2) & \dots & \tilde{X}_1(L) \\ HT_2 & \tilde{X}_2(1) & \tilde{X}_2(2) & \dots & \tilde{X}_2(L) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ HT_N & \tilde{X}_N(1) & \tilde{X}_N(2) & \dots & \tilde{X}_N(L) \end{matrix} = \quad (2.7)$$

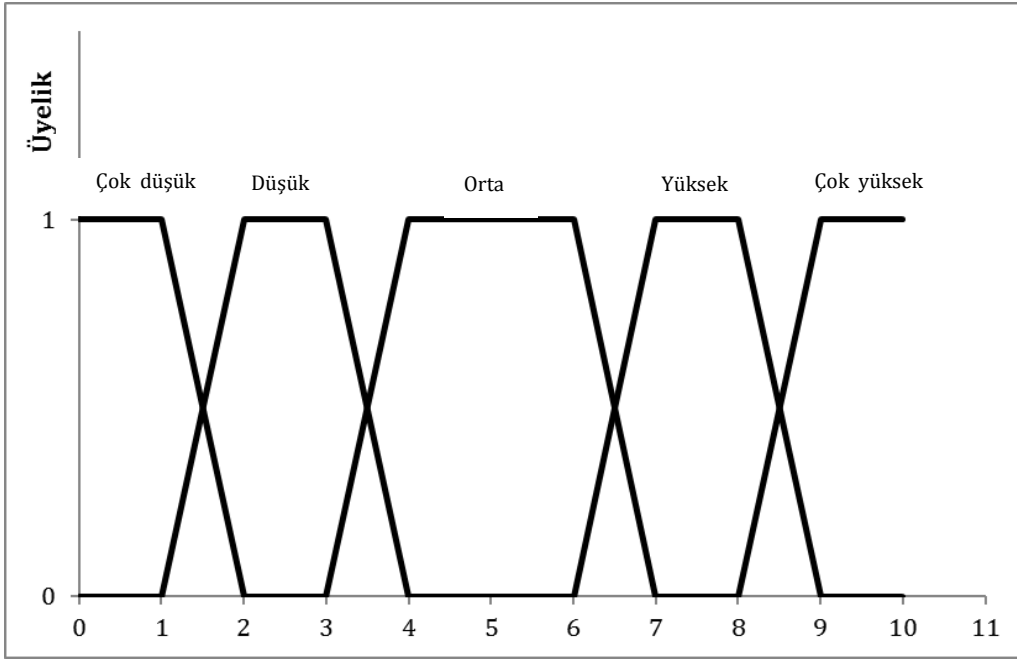
#### 2.4.1.2. Durulaştırma

Grup fikir yapılarını bir araya toplamak ve genel fikir yapılarına dönüştürmek için durulaştırmadan ve ağırlıklı ortalama yönteminden yararlanılır. Bir bulanık kümede tam sayıları elde etmek için **denklem 2.8**'deki durulaştırma yönteminden yararlanılabilir.

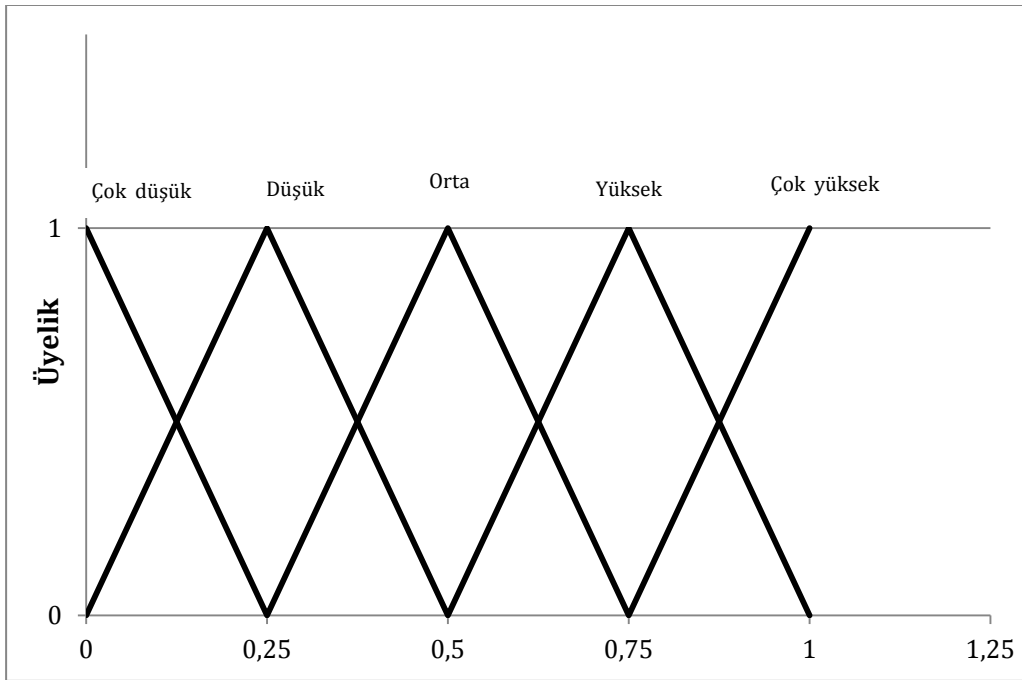
$$h_{ij} = \frac{\sum_{i=0}^n (bi-c)}{\sum_{i=0}^n (bi-c) - \sum_{i=0}^n (ai-d)} \quad (2.8)$$

$i = 1, \dots, 5 \quad ; \quad j = 1, \dots, 5$

Eşitlikte  $h_{ij}$ ,  $H_{ij}$  kümesinden durulaştırılmış gerçek sayılardır. Eşitlikteki limit değerler, **şekil 2.1**'deki üyelik grafiğinden elde edilir.  $c$  ve  $d$  değerleri sırasıyla sıfır ve on değerlerine karşılık gelir, yani üyelik diyagramında en düşük ve en yüksek sayılardır.  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $b_0$  ve  $b_1$  sayıları ise her sözel terimin limit noktalarına denk gelir. Mesela “yüksek” terimin için  $a_0=6$ ,  $a_1=7$  ve  $b_0=9$ ,  $b_1=8$ 'dir. Diğer tüm sözel terimler içinde aynı şekilde bulunur. Risk faktörlerinin grup ağırlıklarını durulaştırırken ise, **şekil 2.2**'deki üyelik fonksiyonlarından yararlanılır.



Şekil 2.1 : Bulanık mantıkta sözel terimlerin durulaştırılması için yararlanılan üyelik fonksiyonu.



Şekil 2.2 : Bulanık ağırlıkların üyelik fonksiyonları.

Son olarak **denklem 2.9**'dan genel fikir yapıları elde edilir.

$$X_n(l) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \beta_{ij}^k h_{ij} (HT_n, RF_l) \quad (2.9)$$

$$n = 1, \dots, N \quad ; \quad l = 1, \dots, L$$

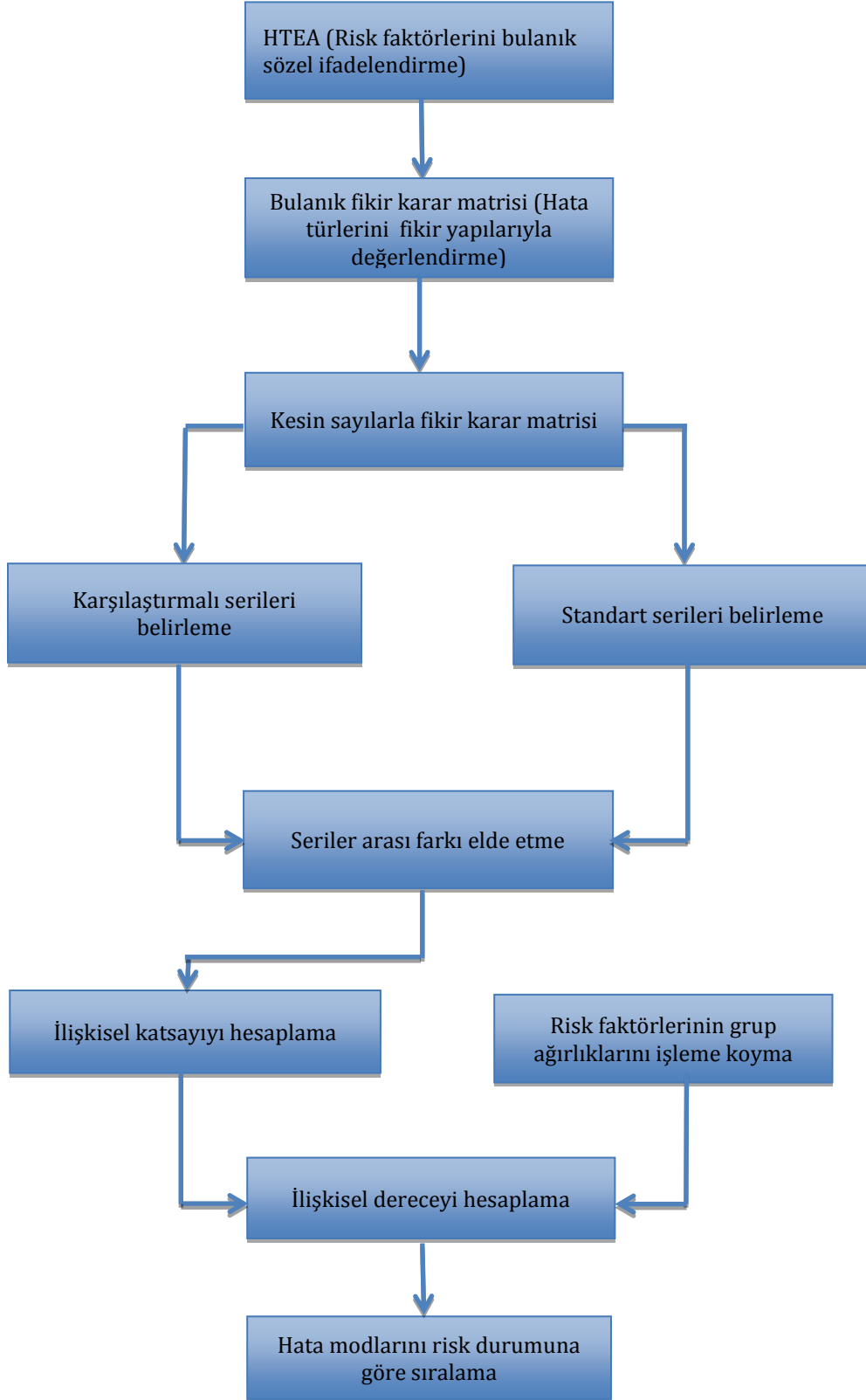
Genel fikir yapılarının matris formundaki **denklem 2.10**'daki gibidir.

$$X = \begin{matrix} HT_1 \\ HT_2 \\ \vdots \\ HT_N \end{matrix} = \begin{matrix} X_1(1) X_1(2) \dots X_1(L) \\ X_2(1) X_2(2) \dots X_2(L) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_N(1) X_N(2) \dots X_N(L) \end{matrix} \quad (2.10)$$

#### 2.4.2. Gri teori

Gri teori Deng tarafından bulunmuştur. Üzerinde karar verilmiş ya da tamamen bilinmeyen ya da kısmen bilinir olan, operasyon, mekanizma, yapı ya da davranış gibi tamamlanmamış bilgiler üzerinde çalışmak için belirlenen bir yaklaşımdır. Sistem davranışını ilişkilendirme analizi yaparak ve model kurarak keşfeder. **Şekil 2.3**'teki figür HTEA sürecinde tanımlanan hata biçimlerini öncüllendirmek için kullanılan gri teori yaklaşımının aşamalarını göstermektedir. [16].

Gri teori uygulamasında, bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama (BKS) yaklaşımında durulaştırılmış fikir karar matrisindeki değerlerden, matris formunda karşılaştırmalı seriler elde edilirler. Bu aşamada karşılaştırmalı serilerle farkı alınacak olan standart seriler, matris formunda olacak şekilde belirlenir. Standart ve karşılaştırmalı serilerin farkı alınır, bu değerler gri ilişkisel katsayı hesabı için kullanılırlar. Son olarak gri ilişkisel katsayı ve risk faktörlerinin grup ağırlıkları kullanılarak, her hata türü için gri ilişkisel dereceler hesaplanır. Bu değer ne kadar yüksekse, hata türünün risk önceliği daha küçüktür. Buna göre riskler önceliklendirilirler.



Şekil 2.3 : Gri teori akış şeması.

#### 2.4.2.1. Karşılaştırmalı seriler

L adet bileşeni ya da risk faktörü olan serilerdir. Seri  $X'_n=(X'_n(1) X'_n(2),\dots, X'_n(L)) \in X'$  şeklinde ifade edilir.  $X'_n(1), l=1,\dots,L$   $X'_n$ 'nin faktörleri anlamına gelmektedir. Değerleri **denklem 2.11**'den elde edilen N tane seri aşağıdaki matristeki gibi ifade edilir;

$$X' = \begin{matrix} X'_1 & X'_1(1) & X'_1(2) & \dots & X'_1(L) \\ X'_2 & X'_2(1) & X'_2(2) & \dots & X'_2(L) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X'_N & X'_N(1) & X'_N(2) & \dots & X'_N(L) \end{matrix} \quad (2.11)$$

#### 2.4.2.2. Standart seriler

Standart seriler  $X_0=(X_0(1), X_0(2),\dots, X_0(L))$  gibi ifade edilirler. Standart seriler ile risk faktörlerinin en düşük seviyesi olarak belirlenirler.

$$\begin{aligned} X_0 &= [X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(L)] = [H_{11}, H_{11}, \dots, H_{11}] \\ &= [h_{11}, h_{11}, \dots, h_{11}] \end{aligned} \quad (2.12)$$

#### 2.4.2.3. Karşılaştırmalı seriler ve standart seriler arasındaki fark

İki seri arasında alınan fark,  $\Delta_{0n}(l) = \|X_0(l) - X_n(l)\|$  şeklinde hesaplanır. Bu eşitlikte  $X_0(l)$  standart seri,  $X_n(l)$  ise karşılaştırmalı seridir. Aşağıdaki matristeki gibi ifade edilir.

$$D_0 = \begin{matrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \dots & \Delta_{01}(L) \\ \Delta_{02}(1) & \Delta_{02}(2) & \dots & \Delta_{02}(L) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \Delta_{0N}(1) & \Delta_{0N}(2) & \dots & \Delta_{0N}(L) \end{matrix} \quad (2.13)$$

#### 2.4.2.4. Gri ilişkisel katsayı

Belirlenen hata türlerinin her bir risk faktörü için, gri ilişkisel katsayı  $\gamma(X_0(l), X_n(l))$  ile ifade edilir ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\begin{aligned}\gamma(X_0(l), X_n(l)) &= \frac{\min_n \min_l |X_0(l) - X_n(l)| + \zeta \max_n \max_l |X_0(l) - X_n(l)|}{|X_0(l) - X_n(l)| + \zeta \max_n \max_l |X_0(l) - X_n(l)|} \\ &= \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0n}(l) + \zeta \Delta_{\max}}\end{aligned}\quad (2.14)$$

$$n = 1, \dots, N \quad ; \quad l = 1, \dots, L$$

Bu eşitlikte  $X_0(l)$  standart serilerin  $X_n(l)$  ise karşılaştırmalı serilerin minimum ve maksimum değerleridir.  $\zeta \in (0,1)$  ise riskin göreceli değerini etkileyen, genelde 0.5 alınan bir belirleyicidir.

#### 2.4.2.5. İlişkisel derece

Risk faktörlerinin grup ağırlıkları ve gri ilişkisel katsayı kullanılarak ilişkisel derece hesaplanır. Bulunan derecelere göre hata türleri sıralanır.

$$\Gamma(X_m, X_n) = \sum_{l=1}^L \tilde{w}_l \gamma \{X_m(l), X_n(l)\} \quad (2.15)$$

#### 2.4.3. Bulanık mantık ve gri teori esaslı HTEA ve geleneksel HTEA'ya karşı üstün yanları

Literatürde riskleri önceliklendirmek için kullanılan HTEA analizinde uygulanan hibrid yaklaşımlar içerisinde önemli uygulamalardan biri de, Liu ve diğer çalışma arkadaşlarının ortaya çıkardığı bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama (BKS) ve gri teoridir. BKS yaklaşımı, HTEA takım üyelerinin değerlendirme bilgilerinin farklılığını ve belirsizliğini modellemek için kullanılır. BKS yaklaşımı ile belirsiz olan subjektif kararlar, birleştirilmiş bir çerçeve altında sağlıklı şekilde modellenebilir ve bu yaklaşım HTEA takım üyelerine subjektif kararlarını bazı esnek yollardan sunmalarını sağlar.

Gri analizden ise, hata biçimlerinin risk önceliklendirmesinde yararlanır. Gri teori Deng tarafından bulunmuş, sistem davranışını, ilişkilendirme analizi yaparak ve model kurarak keşfeden bir yöntemdir. Üzerinde karar verilmiş ya da tamamen bilinmeyen ya da kısmen bilinen olan, operasyon, mekanizma, yapı ya da davranış gibi tamamlanmamış bilgiler üzerinde çalışmak için belirlenen bir yaklaşımdır.

Önerilen HTEA yaklaşımının en önemli yanları, risk faktörlerini fikir yapılarını kullanarak değerlendirmesi, kişisel fikir yapılarını grup fikir yapılarına sentezlemesi,



bulanık mantıkta ölçülebilir grup fikir yapılarını tüm fikir yapıları ile bir araya getirmesi, karşılaştırmalı ve standart serileri tespit etmesi, bu iki seri çeşidinin farklarını ortaya koyması, gri ilişkisel katsayıyı ve ilişki derecesini hesaplaması ve son olarak ilişki derecesini kullanarak hata biçimlerini sıralaması olarak değerlendirilmiştir [14].

Geleneksel RÖS hesabıyla ve onun türünde değişik yöntemlerle karşılaştırılırsa, yeni yöntemde hata biçimlerinin önceliklendirilmesi süreci, daha gerçekçi, esnek ve pratiktir. Çok subjektif, maliyetli ve zaman kayıplı olan eğer-sonra kural temeli kurmaya gerek kalmamaktadır. HTEA takım üyelerinin değerlendirme bilgilerinin farklılığı ve belirsizliği kullanılan fikir yapıları ile çok iyi yansıtılmaktadır ve bu durum bir başka HTEA çalışması için uzmanın bilgisini ve tecrübesini birleştiren organize bir yöntem olmasını sağlamaktadır. Eğer bazı değerlendirmeler aynı değil ise, hata biçimleri birbirlerinden çok iyi bir şekilde ayırt edilebilir ve derecelendirebilir. Son olarak bu yöntemde analiz sadece O, Ö ve K yani ortaya çıkma sıklığı, önem ve keşfedilebilirlik ile sınırlı değildir, başka risk faktörlerini eklemekte mümkündür.



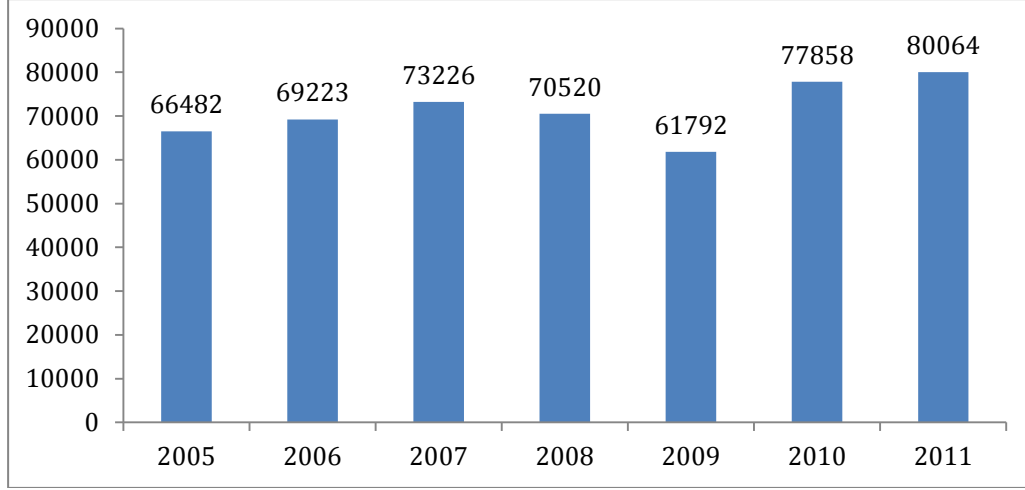
### **3. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ**

#### **3.1. Dünyada Otomotiv Endüstrisi**

Dünyada tüm sektörler içerisinde en büyük yatırımların yapıldığı sektörlerin başında otomotiv sektörü gelmektedir. Doğrudan 8 milyon, dolaylı olarak tahminen 50 milyon insan otomotiv sektöründe istihdam edilmektedir. Sektörün cirosu 2 Trilyon Euro civarında olup, sektörde AR-GE ve üretim için 85 milyar Euro'luk yatırım yapılmakta ve sektör yatırım yapan ülkelere 433 milyar Euro vergi geliri sağlamaktadır. Ciroyuyla beraber eğer bu sektör bir ülke olsaydı, dünyanın en büyük altıncı ülkesi olurdu.

Yaklaşık 50 üretici firma, dünyada 20 civarında ülkede faaliyet göstermektedir. Bu firmalar büyük bir ağırlıkla otomobil ve kamyonetten oluşan hafif araç sınıfında üretim yapmaktadır. Yapılan tüm üretimin yaklaşık %10'luk kısmı ise kamyon, otobüs, minibüs, midibüs, çekici gibi araçlardan oluşan ticari araçlardır.

**Şekil 3.1'**de dünyadaki motorlu taşıt üretim adetlerine 2005-2011 yılları arasında bakıldığında, üretimin 2008-2009 yıllarındaki kriz dönemleri haricinde sürekli arttığı görülmektedir. Bu dönemde birçok devlet, firmaları ve sektörü ayakta tutmak için çeşitli müdahalelerde bulunmuştur. Yapılan yerinde ve pozitif müdahalelerle 2009 yılının ikinci yarısından itibaren satışlar düzelmiştir. 2011 yılında ilk defa dünyadaki toplam üretim adedi 80 milyon seviyesini aşmıştır. 80 milyon adetlik aracın yaklaşık 58milyonu binek araç ve 22 milyonu da ticari araçtır.



**Şekil 3.1 :** Dünyadaki motorlu taşıt üretiminin yıllara göre değişimi (milyon adet).

**Çizelge 3.1**'de ise, 2011 yılı itibariyle Türkiye'nin motorlu araç üretimde dünyada 17'inci sırada olduğu görülmektedir. Çin, 2009'dan günümüze kadar dünyada en çok motorlu araç üreten ülke konumundadır. Bu ülkeyi ABD ve Japonya takip etmektedir. Son beş yılda ilk üç sıradaki bu ülkelerin konumları, kendi aralarında değişmede sabit kalmıştır. Sektörde gelişim hızları dünyada farklı lokasyonlarda farklılık göstermiştir. Avrupa'da en önemli üretici konumundaki ülkeler Almanya, Fransa, İspanya, İngiltere ve İtalya'da sektörel büyüme son yıllarda yavaşlamıştır [19].

**Çizelge 3.1 : 2007–2011 dönemi ülkelere göre motorlu araç üretim rakamları.**

	2007		2008		2009		2010		2011	
1	Japonya	11.596.327	Japonya	11.575.644	Çin	13.790.994	Çin	18.264.667	Çin	18.418.876
2	ABD	10.780.729	Çin	9.299.180	Japonya	7.934.516	Japonya	9.625.940	ABD	8.653.560
3	Çin	8.882.456	ABD	8.693.541	ABD	5.708.852	ABD	7.761.440	Japonya	8.398.654
4	Almanya	6.213.460	Almanya	6.045.730	Almanya	5.209.857	Almanya	5.905.985	Almanya	6.311.318
5	G. Kore	4.086.308	G. Kore	3.826.682	G. Kore	3.512.926	G. Kore	4.271.941	G. Kore	4.657.094
6	Fransa	3.015.854	Brezilya	3.215.976	Brezilya	3.182.617	Brezilya	3.648.358	Hindistan	3.936.448
7	Brezilya	2.977.150	Fransa	2.568.978	Hindistan	2.632.694	Hindistan	3.536.783	Brezilya	3.406.150
8	İspanya	2.889.703	İspanya	2.541.644	İspanya	2.170.078	İspanya	2.387.900	Meksika	2.680.037
9	Kanada	2.578.790	Hindistan	2.332.328	Fransa	2.047.658	Meksika	2.345.124	İspanya	2.353.682
10	Hindistan	2.253.729	Meksika	2.167.944	Meksika	1.561.052	Fransa	2.229.421	Fransa	2.294.889
11	Meksika	2.095.245	Kanada	2.082.241	Kanada	1.490.632	Kanada	2.071.026	Kanada	2.134.893
12	UK	1.750.253	Rusya	1.790.301	İran	1.395.421	Tayland	1.644.513	Rusya	1.988.036
13	Rusya	1.660.120	UK	1.649.515	UK	1.090.139	İran	1.599.454	İran	1.648.505
14	Tayland	1.287.346	Tayland	1.393.742	Tayland	999.378	Rusya	1.403.244	Tayland	1.478.460
15	İtalya	1.284.312	Türkiye	1.147.110	Çek C.	974.569	UK	1.393.463	UK	1.463.999
16	Türkiye	1.099.413	İran	1.051.430	Polonya	884.133	Türkiye	1.094.557	Çek C.	1.199.834
17	İran	997.240	İtalya	1.023.774	Türkiye	869.605	Çek C.	1.076.385	Türkiye	1.189.131
18	Çek C.	938.648	Çek C.	946.567	İtalya	843.239	Polonya	869.376	Polonya	837.948

### 3.2. Türkiye’de Otomotiv Endüstrisi

Türkiye’de otomotiv sektörünün gelişimi, kurulduğu 1960’lı yıllardan sonra dört aşamada değerlendirilebilir. 1960-1980 yılları arasında piyasa korunmuş, ithalat yerleşmiştir. Bunun dışında montaj ünitelerinde kapasite arttırımına gidilmiş ve yan sanayi gelişmiştir. 1981-1995 yılları arasında ise ihracat odaklı üretim amaçlanarak bir dönüşüm süreci başlamıştır. Liberalleşmeninde etkili olduğu bu dönemde, modern teknoloji kullanımı, kapasite arttırımı gerçekleşmiş, Türkiye’de otomotiv sektöründe ihracat başlamıştır. 1996-2004 yılları arasında serbest piyasa ve tam rekabet hüküm sürmüştür. Tam entegre üretim tesisleri kurulurken, sürdürülebilir küresel rekabet kavramı sektörde itici güç olmuştur. 2005-2015 yılları arasında ise otomotiv sektöründe yeni fırsatlar doğmuştur ve doğacaktır. Bu zaman aralığında firmalar AR-GE, tasarım ve teknoloji yönetimi ve gelişimine odaklanmışlardır [20-21].

Ford, Mercedes Benz gibi dünyanın önde gelen otomotiv firmaları Türk ortaklarla Türkiye’nin farklı yerlerinde tesisler kurmuşlardır. Bu tesislerle Türkiye’nin otomotiv endüstrisindeki önemi ve payı artmış, jeopolitik konumunda verdiği avantajla 1990’lı yıllarda ihracat üssü haline gelmiştir. Ulusal ve uluslararası satış amaçlı çok sayıda model Türkiye’de üretilmekte, üretilmeyen araçlar ise ithal edilmektedir. 1996 yılında AB ile yapılan Gümrük Birliği kanunu Türkiye’nin bu sektörde gücünün artmasında itici bir güç olmuştur [22].

**Çizelge 3.2’de** de görüleceği gibi Türkiye’de otomotiv sektöründe üretim yapan 16 firma vardır. Bunlardan bir kısmı tamamen yerli sermaye ile, bir kısmı tamamen yabancı sermaye ile, bir kısmı ise kısmi ortaklıklarla kurulmuşlar ve faaliyetlerini sürdürmektedirler. 2011 yılında Türkiye’de toplam 1.234.637 adet araç üretilmiştir. En fazla üretim adedine ulaşan üç firma Ford Otosan, Oyak Renault ve Tofaş firmaları olmuştur. [20].

**Çizelge 3.2 : Otomotiv sanayi firmalarının 2011 yılı 12 aylık üretimler.**

Firmalar	Otomobil	K.Kamyon	B.Kamyon	Kamyonet	Otobüs	Minibüs	Midibüs	Traktör	Toplam
A.I.O.S.		2531		618			1175		4324
B.M.C.			3234		488		2		3724
Ford Otosan			9239	267240		19371			295850
Hattat Tarım								4889	4889
Honda Türkiye	12341								12341
Hyundai Assan	90231								90231
Karsan		574	1818	16742	76	2936			22146
M.Benz Türk			18344		3018				21362
Man Türkiye					1610				1610
Otokar				675	727	168	1492		3062
Oyak Renault	330994								330994
Temsa Global		1656		576	988		840		4060
Tofaş	114529			193259					307788
Toyota	91639								91639
Türk Traktör								40617	40617
Toplam									1234637

Türk otomotiv firmaları üretim ve pazarlama alanlarında çok büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Kullanılan yöntem ve teknolojiler, kalite yönetimi, verimlilik rakamları uluslararası seviyede firmalarla eşdeğer duruma gelmiştir. Küresel entegrasyon günümüzde artık tamamlanmıştır. Türkiye’de otomotiv sektöründe, üretim ve işletme yönetiminde toplam kalite yönetimi, yalın üretim ve yalın yönetim anlayışı ve bakış açısı hakim olmuştur [22].

### **3.3. ISO 16949 Otomotiv Endüstrisi Kalite Yönetim Sistemi**

ISO 9000/TS 16949 teknik bir şartnamedir, isminde geçen TS “technical specification” da bu ifadeden gelmektedir. Bu sistem ISO 9001:2000 ile birlikte, otomotiv sektörü için kalite yönetimi sistemi gerekliliklerini tanımlar. Otomotiv sektörü dizaynında, üretiminde, servisinde ve bunun gibi diğer bölümlerde bir standart belirler. Sadece bir ürün için değil, ISO 9001’de kapsayan kalite yönetim sistemlerinin değerlendirilmesi için genel bir standarttır. Ürün kabul kriteri içermez.

ISO/TS 16949 sisteminin amacı, organizasyonlar otomotiv sektörüne ürün ya da hizmet tedarik ederken sistemleri işletmektir. İşlevi yalnızca bu ürünlerin ya da hizmetlerin müşteri isteklerini karşılayıp karşılamadığını belirlemekten ziyade, sürekli gelişim sağlamak, hata önlemeye odaklanmak, değişkenliği, kayıpları azaltmaktır.

Bu standart bir araç için, kalite yönetimi alanında otomotiv endüstrisindeki temsilciler ve uluslararası komiteler tarafından kabul edilmiş konseptleri bir araya getirir ve iletişimini sağlar [23].

### **3.4. Toyota Üretim Sistemi**

Toyota üretim sistemi Toyota şirketinin içinde bulunduğu koşullara bir cevap olarak doğmuştur. Bu üretim sisteminin birçok konsepti eskidir ve Toyota ile birleşiktir ancak bazılarının kökleri daha eski kaynaklara dayanır. Mesela 1902’de yaratılan Jidoka bu sistemin en eski kısmıdır, temelde insan ve makinanın süreçlerde birbirinden ayrılmasını sağlayarak kaliteli üretim yapısını kurmayı hedefler.

Toyota üretim sisteminin en ünlü elementi hiç kuşkusuz tam zamanında (just in time) üretimdir. Kiichiro Toyota tarafından 1937 yılında geliştirilmiştir. Şirketin başlangıç aşamalarında yetersiz ve zor koşullar karşısında geliştirdiği konseptler, 1950’lerde tam zamanında üretim konseptine eklenen takt süresi, standartlaştırılmış iş, kanban, süpermarketler gibi günümüzde yaygın kullanılan elementlerle devam etmiştir.

Bulunan elementlerin Toyota firmasının otomotiv tarafına kaydırıldıktan sonra, operasyonel üretkenliği geliştirmek, tam zamanında üretim ve jidoka konseptlerini tam olarak uygulamak bir sistem anlayışını gerektirmiştir ve tüm bu çalışmalar Toyota üretim sistemi olarak isimlendirilen bir sistem olarak sonuçlanmıştır. Bunlardan başka zamanla sistem içinde 7 Kayıp, 5S, SMED, görsel kontrol, hata çalışmaları, kök neden analizleri gibi başka araçlar ve tekniklerde geliştirilmiştir [24].



### 3.4.1. Amaçları

Toyota üretim sisteminin amacı müşterilerinin beklentilerini karşılayacak şekilde çok iyi kalite seviyesinde ürünlerini piyasa sürmektir. Bununla beraber endüstride, kurumsal sorumluluk konusunda bir model olmaktır.

Toyota üretim sisteminin hedefleri ve değerleriyle bağıntılı olarak dört temel amacı vardır. Bunlar, müşteriye dünya çapında bir kalite ve hizmet sağlamak, her bir çalışanın potansiyelini saygı, güven ve işbirliği temelinde geliştirmek, karı maksimuma çıkararak ve kayıpları yok ederek maliyetleri düşürmek, pazar taleplerini baz alarak esnek üretim standartları geliştirmektir.

Toyota'nın üretim sistemlerindeki filozofisi tüm çalışanların katılımıyla kaybı yok etmeyi hedefleyen belli standartlar temelinde sürekli iyileşen bir imalat kültürü yaratmaktır. Bu sistemin en önemli iki üyesi tam zamanında üretim (Just in Time) ve Jidoka'dır. Tam zamanında üretim, tam zamanında doğru parçaları, doğru zamanda, doğru miktarda mümkün olan en az kaynakla üretmek ve teslim etmektir. Sistem bu mantıkla envanter miktarını düşürüp, erken ve geç üretimi engeller. Envanter miktarını düşürmek, imalat süreçlerindeki gerçek problemlere daha hızlı reaksiyon göstermeyi ve gelişim ihtiyaçlarına odaklanmayı kolaylaştırır. Jidoka ise sistemin ikinci en önemli parçasıdır. İki kısımdan oluşur. Bunlardan ilki süreçte kalite üretmek, diğeri ise iş ortamında insanı makinadan ayırmaktır. Toyota üretim sistemi Jidoka ile bir hata ya da problem çıktığında, sistemi otomatik olarak durduracak ya da kapatacak kapasitede akıllı sistemler yapmayı hedefler. Bu otomatik durdurmalar, makinanın hasar almasını engeller, ömrünü uzatır, kazaları önler, hata anındaki genel durumun daha iyi incelenmesini sağlar. Jidoka'nın diğeri bir bileşeni makinaryı insandan ayırmasıdır. Eğer makinalar bir problem çıktığında kendi kendisini durduracak kapasitede ise, makinanın başında duracak bir insana otomatik olarak ihtiyaç kalmamaktadır. Böylece insanlar makina başında durmak, süreci izlemek gibi katma değeri olmayan işlerdense, firmaya daha fazla değer katacak işlerde kullanılabilirler.

Sistemde kişilerin ve takımların bilgi düzeyleri istenen seviyede olmalı, kişilere eğitim verilmeli ve kısaca iş yapmaya yetkin olmalıdırlar. Bu sistemi uygulayan bir şirketin hedeflerine ulaşması için üretim takım üyelerine dört temel alan tanımlanmıştır. Bunlar, iş standartlarını yaratmak ve devam ettirmek, süreçlerde oluşan günlük problemleri çözmek, sürekli iyileşen süreçlerde iş birliğinde bulunmak ve takım çalışmasını etkin bir şekilde organize etmektir [24].

### **3.4.2. Odak noktaları**

Toyota üretim sisteminin odaklandığı en temel ve önemli nokta kayıpları yok etmektir. Bununla beraber kalite, maliyet, üretkenlik, güvenlik ve iş ahlakı diğer odak noktalarıdır. Kayıp, ürüne ya da hizmete kısımlar, işçiler ya da üretim süreçleri tarafından gelen ve değer katmayan tüm faktörlerdir. Kayıp değerleri arttırmazken, sadece maliyetlerin yükselmesine sebep olur. Sürekli iyileştirmeyi engelleyen kayıplar fazla üretim, beklemler, envanter, hareket, süreç, taşıma, parçadan kaynaklı olmak üzere yedi tiptedir.

En yüksek kalitede ürünler üretmek imalat endüstrisinde öncelik olmalıdır. Müşteriler istedikleri kalitede olmayan bir ürünü almaya devam etmek istemezler. Özellikle otomotiv sektöründe araca yanlış ya da kalitesiz bir parça takmak o seride üretilen tüm araçların geri çağırılmasına yani çok yüksek maliyete sebep olabilir. Maliyet dışında bu durum, çok yüksek güvenlik riski taşır. Toyota üretim sisteminde öncelik ürünlerin sorunsuz bir biçimde müşterilere teslim edilmesidir.

Maliyet açısından başka bir odak noktası, maliyet düşürme prensibine bağlı kalarak karı, karlılığı korumaktır. Bu prensipte ürünlerin satış rakamları, müşteriler ve pazar tarafından belirlenir. Karı sürekli olarak arttırmak için maliyetler düşürülmeli ve kayıplar azaltılmalıdır.

Toyota üretim sisteminde son iki odak noktası güvenlik ve ahlaktır. Güvenlik ve iş ahlakı olmadan istenen kaliteye, maliyete ve üretkenliğe ulaşmak imkânsızdır. Sürekli iyileşme için güvenli bir iş sahası sağlamak ve geliştirmek önemli bir konudur. Sistemde yer alan standartlaştırılmış iş kavramı ve 5S tekniği, kazaların birçoğuna sebep olan düzensizliği ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Bununla beraber tüm çalışanların yaratıcı ve pozitif bir iş yeri sağlaması sistemin gereklerindedir. Sürekli iyileştirme, tüm katılımcıların yaratıcı ve problem çözme

yeteneğinin olmasını gerektirir. İş yerinde karşılıklı saygı, güven ve işbirliği kavramlarını yerleştirmek, aynı zamanda iş ahlakı ve huzurlu bir çalışma ortamı yaratır ve bu ortamın sürekliliğini sağlar [22].

### **3.5. İmalatta Hata Yönetimi ve Kamyon Üretim Sistemi**

İmalatta hata yönetimi, Toyota üretim sistemini doğrudan alarak ya da değiştirip kendilerine uygun hale getirip dolaylı olarak uygulayan firmaların kullandığı bir yöntemdir. Firmalar hata yönetimini, standart ve güçlü süreçlere ulaşmak, çıkan hatalardan ders çıkarıp bunların tekrarlanmasını önlemek, kaliteyi, gelişimi ve müşteri memnuniyeti arttırmak, hatalardan kaynaklanan maliyetleri düşürmek ve çalışanları eğiterek onları daha iyi hale getirerek, özsorumlulukla ilerleyen bir üretim kurup güçlü bir yapı oluşturmak için uygularlar.

Hata yönetim sistemi üretimin her kısmında uygulanır. Bu sistem için üretimde yönetmek, uygulamak, kontrol etmek için bir organizasyon kurulur. Sadece imalat hata yönetimi için çalışan bir ekip dışında, bu sistemin iyi bir şekilde işlemesi için, fabrikada imalat süreçlerinde görev alan mavi yaka, beyaz yaka tüm çalışanların dolaylı ya da doğrudan desteği gerekmektedir. Bu yüzden sistemde en önemli kriter çok iyi bir iletişim ağı kurmaktır.

Kamyon üretim sistemi (Truck Operating System), içeriğinde en önemli yöntemlerden biri hata yönetimi olan, kamyon üreten uluslararası bir firmanın uyguladığı, Toyota üretim sisteminden uyarlanmış, daha verimli ve daha etkin çalışmak için özel uygulamaları ve yöntemleri içeren bir felsefedir.

#### **3.5.1. İmalatta kalite döngüsü**

TOS sisteminin imalat süreçlerinde dört adet kalite döngüsü vardır. Birinci kalite döngüsü çalışanın kendi öz sorumluluğudur. Çalışan hata yapmamalı, dikkatli olmalı, iş adımlarını, talimatları iyi bilmeli, fazla iş yükü olmamalı, gereken eğitimleri takip edilip, eğitimleri verilmelidir. İkinci kalite döngüsü kalite kapılarıdır. Kalite kapıları imalat süreçlerinde üretilen ürünlerin kalitesini güvence altına almak ve sıfır hata hedefine ulaşmak için hata yönetim sisteminin bir uygulaması olarak, imalat süreçlerinde ayrı ayrı her birimde olacak şekilde son istasyonlara kurulurlar. Kalite kapisına gelen ürünler talimatlara uygun olarak kontrol edilir, bir hata tespit edilmesi durumunda gereken iletişim yapılarak, hata yönetim sisteminin gereği

olarak hata giderilir, hatayı yapan çalışan bilgilendirilip eğitimi verilir. Üçüncü kalite döngüsü üretim bandından çıkan aracın, banttın çıkar çıkmaz alınıp tamamen kontrol edilmesidir. Kontrolün sonuçları ve çıkan hatalar ile ilgili, kontrol sonunda tüm birimler bilgilendirilir. Dördüncü ve son kalite döngüsü ise müşteriye teslim edilmek üzere bekleyen aracın tamamen kontrol edilmesidir. Bu kontrol firmanın karnesi gibidir. Yine kalite bölümü tarafından yapılan bu kontrolün sonuçları da tüm birimlere iletilir.

### **3.5.2. Hata yönetimi adımları**

İmalatta hata yönetimi kamyon üretim sisteminde sekiz adımdan oluşmaktadır. Sistemin iyi bir şekilde işlemesi için, bu adımların her biri başarıyla uygulanmalıdır. Bu adımlar sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

#### **3.5.2.1. Hatanın tespiti ve kaydı**

Hata yönetiminin ilk adımı hatanın tespiti ve kaydıdır. İmalatta bulunan dört ayrı kalite döngüsünde tespit edilen dört ayrı hata tipi vardır. Bunlar A, B, C ve D hata tipi olarak isimlendirilirler. A sınıfı hatalar, müşterinin üründen şikayetçi olduğu, takip eden süreçlere büyük ölçüde etkileyecek, otomotiv sektöründe trafiğe çıkışı engelleyecek, tehlikeli, değiştirilmesi şart olan, fonksiyon engelleyici hatalardır. B sınıfı hatalar, müşterilerin büyük bir çoğunluğunun şikayetçi olduğu, takip eden süreçleri etkileyen, fonksiyonları büyük olasılıkla engelleyici, değiştirilmesi gerekli olan hatalardır. C sınıfı hatalar, bazı müşterilerin şikayetçi olduğu, takip eden süreçleri az miktarda etkileyen hatalar olup, D sınıfı hatalar ise sadece dikkatli müşterilerin tespit edip şikayetçi olabileceği, takip eden süreçleri etkilemeyen, süreç iyileştirmesi gerektiren hatalardır. İlk iki kalite döngüsünde tespit edilen hatalar imalat süreçlerinde her birimde bulunan çalışanlar tarafından kayıt altına alınırlar. Üçüncü ve dördüncü kalite döngüsünde kalite birimi tarafından tespit edilen hatalar, imalat süreçlerinde hata yönetimi ekibi tarafından yine tipine göre kayıt altına alınırlar.

#### **3.5.2.2. Hataların sınıflandırılması ve önceliklendirilmesi**

Kayıt altına alınan hatalar, öncelikli olarak hangi tipte olduklarına göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma sonrasında analiz edilip kök sebebine inilecek olan

hatalar belirlenir. Hata yönetim sistemini uygulayan kamyon üretim sisteminde, A ve B hatalarının tümü için problem çözme süreci uygulanır. Bunun dışında yönetici insiyatifinde olarak C veya D hataları, yıl içinde en az 3 defa tekrarlayan hatalar, iş kazaları, müşteri şikâyetlerinin tümü veya yıl içinde tekrar eden tedarikçiden hatalı gelen parçalar ya da cihazlar için problem çözme süreci uygulanabilir.

Hatalar her birim için tiplerine göre kayıt altına alınırlar ve böylece her bir kısım ve birim için en fazla tespit edilen hata tipleri belirlenir. En fazla tespit edilen hata tipi ve bu hatanın toplam hatalar içindeki payını bulmak için pareto diyagramı kullanılır. Pareto diyagramı ismini, Vilfredo Pareto isimli İtalyan bir ekonomistten almıştır. Pareto, 19. yüzyılın sonlarında ülkedeki gelirlerin adil dağıtılmadığını, %80'lik bir girdinin sadece %20'lik bir kısmın eline geçtiğini gösteren bir formül sunmuştur. Pareto analizi kısaca az sayıda ama önemi çok büyük olan problemleri görmemizi sağlar [25].

Hataların önceliklendirilmesi için önerilen, bu çalışmada işlenen ve uygulamalı bir örneği yapılan yaklaşım, bulanık mantık ve gri teori esaslı hata türü ve etkileri analizidir. Hata yönetim sistemine entegre edilecek bu analiz, risklerin çok daha kesin ve iyi bir şekilde önceliklendirilmesini sağlayacaktır.

### **3.5.2.3. Hata analizi**

Problem çözme sürecinde çalışılacak hatalar ilk olarak A3 problem çözüm kağıdı yardımıyla analiz edilirler. A3 süreci, işbirliği içinde problemi derin bir analiz yaparak çözmeye yardım eder. Hatanın tanımı, kök sebep araştırması, çözüm yöntemi, alınacak önlemler, etkinlik, hata takibi, adresleme gibi tüm çalışmalar tek bir yerde toplanır ve bu önemli çalışmanın günlük bir rutin haline gelmesi kolaylaşır [26].

Bu sürecin ilk adımında hatanın ya da sürecin kesin tanımı yapılır. İkinci adımda bu çalışma ile ilgili çeşitli veriler toplanır. Geçmişte aynı hata çıkmışsa, aynı ya da benzer hatalarla ilgili çalışmalar veya hata tarif edildikten sonra analizini yaparken gerekebilecek çeşitli dökümanlar bu veriler olabilirler. Bu hatanın aciliyeti, ne kadar büyüklükte olduğu, maliyeti saptanır. Bunun sonrasında hata ile ilgili alınan ilk önlemler belirtilir. Bunlar hatanın tekrar edip etmediğini tespit etmek için, hata çıkan

üründen önceki ve sonraki ürünlerin belli bir sayıda olmak üzere kontrolü, hatanın çıktığı istasyon çalışanlarına verilen eğitim ve bunun gibi önlemlerdir.

Acil önlemler alındıktan sonraki adımda, sebep-etki diyagramı (Ishikawa Diyagramı) yardımıyla hatanın olası sebepleri beyin fırtınası yapılarak tespit edilir ve bunlar dökümanite edilirler. Sebep ve etki diyagramı aynı zamanda Ishikawa ve balık-kılçık diyagramı olarak adlandırılır. İmalat endüstrisinde, kalite yönetim uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Bu diyagramı kullanmaktaki amaç bir problemin nedenlerini gruplamak ve bunları tanımlamaktır[27]. Beyin fırtınası ise bir problem çözme tekniğidir. Bu tekniğin amacı farklı disiplinlerden, bölümlerden kişileri bir araya getirip, bir lider eşliğinde, fikirler üretip bunların listesini çıkararak, bunlarla ilgili tartışarak, bir probleme çözüm bulmaktır [28]. Bu diyagramdaki çalışma sonucunda seçilen hatanın en olası sebebi, 5 neden analizi yöntemiyle tam olarak detaylandırılır ve hatanın gerçek kök sebebi tespit edilir. 5 neden analizi ile, bir problemde ya da hatada neden ve etki arasındaki ilişkiye karar verilir. Hatanın ana sebebi belirlendikten sonra bu sebebe 5 kez arka arkaya ve her bir sorudan sonra alınan cevaplara neden sorusu sorularak, elde edilen cevaplardan kök sebep bulunmaya çalışılır. Son olarak belirlenen kök sebep ile ilgili alınabilecek önlemler tanımlanır [29]. Bu önlemler hem hata çıkan bölümün kendi içinde olabilir, hem de farklı bölümlere ya da tedarikçilere adreslenebilir. Alınan önlemlerle ilgili gerekli yerlerle iletişim sağlanır ve zaman içinde bunların etkinlikleri ölçülür. Etkili olarak değerlendirilen önlemler, tespitler, benzer hatanın ya da problemin yaşandığı başka sahalara aktarılır.

#### **3.5.2.4. Çözüm ve önlemlerin kayıt altına alınması ve görselleştirilmesi**

Çözüm ve önlemlerin kayıt altına alınması ve görselleştirilmesi, hata analizi yaparken açıklanan, 5 neden analizi ve Ishikawa diyagramı yardımıyla yapılır. Gerekli görülürse, yönetici insiyatifinde hata ortaya çıktıktan sonra doldurulan A3 formu imalat alanındaki panolara asılırlar. Bunun dışında çalışanlara verilen eğitimlerde yine bu görseller kullanılarak anlatım zenginleşir ve çalışanların daha iyi anlaması sağlanır.

### **3.5.2.5. Hata iletişimi ve çözümün uygulanması**

Hata analizi kısmında kabataslak belirtildiği gibi, hatanın kök sebebi belirlendikten sonra A3 formuna önlemler yazılır. Bu önlemler tespit edilip dökümanite edildikten sonra ilgili bölümlere, her gün ya da haftalık olarak yapılan, birçok farklı bölümden çalışanların katılımıyla gerçekleşen bilgilendirme toplantılarında veya mail yoluyla iletilir. Yöneticilerin katılımıyla her gün gerçekleşen toplantılarda, alınan önlemlerin ve bu önlemlerin ne zaman faaliyete geçirileceğini gösteren bilgi panoları bulundurulur. Bu iletişim ağındaki amaç, hata için hangi önlemlerin alındığından tüm birimlerin haberdar olması, etkili çözüm uygulanmasıdır. Farklı bölümler arasında gerekirse çözümün uygulanması için işbirliği yapılır.

Hata için çözüm uygulanırken kullanılan birçok farklı yöntem olabilir. Bölümler farklı önlemler alabilir. Tedarikçi denetimi, eğitimler, malzeme ya da iş makinası değişimi ya da iyileştirmesi, süreç iyileştirmesi bu önlemlerden ilk akla gelenlerdir. Bu yöntemler içinde en etkililerinden biri poka yoke yöntemidir. Literatürde poka yoke için birkaç tanım mevcuttur. Shingo'ya göre poka yoke hataları tespit etmek için bir mekanizmadır. Bu mekanizma her parçayı tamamiyle inceler ve operatörden bağımsız olarak çalışır. Grout'a göre ise poka yoke bir süreç ya da tasarım özelliklerinin, hataları ve hataların negatif etkilerini engellemek için kullanılmasıdır. Son olarak Middleton poka yokeyi hatanın kök nedenini tespit ederek hatayı tamamen yok etmek için sistematik bir çalışma olarak tanımlamıştır [30].

### **3.5.2.6. Etkinlik ölçümü ve hatanın kapatılması**

Alınan önlemler belirlenip, ilgili yerlerle iletişim kurulup, çözüm uygulandıktan sonraki adım, önlemin ne kadar etkin olduğunu ölçülmesi ve bu konuda gereken memnuniyet sağlandıysa hatanın kapatılmasıdır. Öncelikle aynı hatanın tekrar edip etmediği 60 takip eden araçta kontrol edilir. Bu çalışma dinamik kontrol listesi olarak adlandırılır. Bu önlem bir hafta boyunca ilgili kapsam araçlarda kontrol edilerek genişletilebilir. Hatanın tekrar çıkmadığından ve ilgili çalışanların gerekli eğitimi alıp, yapılan hata ile ilgili bilgiye sahip olduğundan emin olduktan sonra hata kapatılır ve hata ile ilgili yapılan çalışma sonlandırılır. Kaç tane hatanın çalışılmakta olduğu, kaç hatanın kapatıldığı yine grafiğe dökülerek, yönetici toplantılarında görsel olarak panolara asılır.

### **3.5.2.7. Eğitim dökümanları hazırlanması ve güncellenmesi**

Hata kapatıldıktan sonraki adım, eğer bir değişiklik olduysa iş adımlarını güncellemek ve bu güncellemeler hakkında ilgili çalışanlara eğitim vermektir. Çıkmış hatalar ve çalışanlara bununla ilgili verilmiş eğitimler döküman olarak saklanır. İşe yeni başlayanlara ya da rotasyon sonucu ilgili istasyona gelen çalışanlara bu eğitimler yeniden verilerek, hataların tekrar etmesinin önüne geçilir. İş adımları ise çalışanların her zaman ulaşabileceği bir sisteme kaydedilir. Çalışan imalat alanında bilgisayar ve kendine özel şifresi yardımıyla istediği zaman çalıştığı alanın iş adımlarına ulaşır, böylece iş adımlarını unutmasının önüne geçilir, gerektiği zaman kolayca hatırlar, her zaman kendini güncel tutar.

### **3.5.2.8. Yönetim tarafından denetim ve standartların kontrolü**

Hata yönetiminin son adımı, yılın belirli zamanlarında yöneticiler tarafından genel anlamda yapılan denetim ve standartların kontrolüdür. Otomotiv firmalarında üretim, Toyota üretim sistemi gibi belirli yazılı bir sisteme ve bu sistemin yöntemlerine göre yapılır. Hata yönetim sistemide, belirli bir sistemin imalat süreçlerinde uygulanan yöntemlerinden biridir. Bu sistemin işlevi, etkinliği yılda iki kez imalat müdürü, kısım müdürleri tarafından denetlenir. Bu denetim ve kontrol sonucunda iyileştirme önerileri, hata yönetiminde eksik taraflar, alınan önlemlerin etkinliği konuşulur ve tartışılır.



## 4. UYGULAMA

### 4.1. Bulanık Mantık ve Gri Teori Esaslı HTEA

Bulanık mantık ve gri teori esaslı HTEA'nın daha iyi anlaşılması için bir sayısal bir uygulama bu kısımda yapılacaktır. Bu örnekte dört farklı disiplinden gelen takım üyeleri, kamyon üretiminde en çok görülen altı hata türünü değerlendirmektedir. Kamyon üretimi sırasında ya da sonradan yapılan çeşitli kontrollerde tespit edilen hatalar aşağıda sıralanmıştır. Bu hatalar çoğaltılabilir.

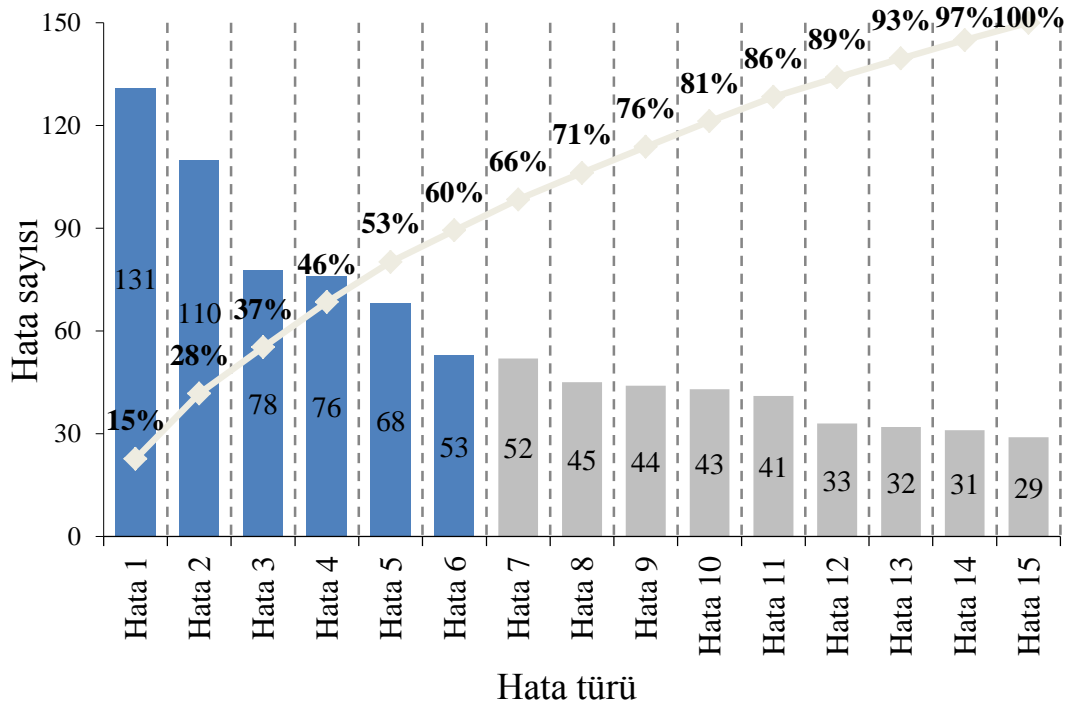
- Boya akıntısı
- Alt doku hatası
- Ayarsızlık
- Boşta ya da boşluklu olma
- Boya köpürmesi
- Boya kabarması
- Boya lekesi
- Mat boya
- Boya toplaması
- Boya tozması
- Boya hasarı
- Uygun olmayan boya
- Zayıf boya
- Boya yanması
- Boyasız alan
- Kaynak çapağı
- Çizik
- Çökük
- Dalgalı
- Dönük
- Belirgin ek işçilik
- Eksik

- Etiket hatası
- Gaz çıkışı
- Gevşek
- Gözenekli
- Hasarlı
- Hava kabarcığı
- Hatalı montaj
- Gergin ya da kasıtlı parça
- Katlanmış
- Kesit daralması
- Kırık
- Çatlak
- Kirli
- Krater
- Oturtulmamış
- Paslı
- Portakallı
- Uygun olmayan punta
- Uygunsuz PVC çekimi
- Yoğun olmayan rotuş
- Ses yapma
- Sızdırma
- Temaslı
- Sürtme
- Tork değerleri tolerans dışı
- Tozlu
- Yabancı madde
- Yabancı renk
- Zımpara izi

İmalatta karşılaşılan tüm hataları içerecek şekilde yapılan, **şekil 4.1**'de görülen pareto analizi sonucunda, en fazla sayıda karşılaşılan hataların sürtme, gevşek, hatalı montaj, zayıf boya, çizik ve kaynak çapağı olduğu tespit edilmiştir. Takım üyeleri kamyon üretimi yapan firmanın imalat, planlama, lojistik ve geliştirme bölümlerinde

görev alan mühendislerdir. Altı hata türünü içinde firma için en yüksek risk taşıyan hata türünü belirlemek için hata önceliklendirme analizi yapılacaktır. Bunun yapılmasının nedeni firmanın hangi hatalar için daha kapsamlı ve ciddi anlamda önleyici çalışma yapmasını belirlemektir.

Çalışmada hata türleri, ortaya çıkma sıklığı, keşfedilebilirlik ve önem olmak üzere üç ayrı risk faktörüne göre değerlendirilecektir. Bulanık mantıkta takım üyelerinin yaptıkları değerlendirmeler ve risk faktörlerinin grup ağırlıkları **çizelge 2.6** ve **çizelge 2.7**'ye göre belirlenecektir. Dört takım üyesinin ilgili ağırlıkları sırasıyla 0,30, 0,15, 0,20 ve 0,35'tir. Bu ağırlıklar mühendislerin imalattaki süreçleri ve çıkan hataları daha iyi tanımaları, hata yönetim sistemine aktif katılımları, takipleri ve imalat sahasına yakınlıklarına göre değerlendirilmiştir. İmalattan çalışmaya katılan mühendisin ağırlığı 0,35 iken, planlamacının 0,30, lojistik bölümünde çalışan mühendisin 0,20 ve geliştirme mühendisinin 0,15 olarak öngörülmüştür. Takım üyelerinin tüm risk faktörlerinde, her bir hata türü için yaptıkları değerlendirmeler ve faktör ağırlıkları **çizelge 4.1**'de görülmektedir.



**Şekil 4.1** : Risk önceliklendirme analizi yapılacak hata türlerini belirlemek için yapılan pareto analizi.

**Çizelge 4.1 : Altı hata türünün dört takım üyesi tarafından değerlendirmesi**

Risk faktörleri	HTEA takım üyeleri	Faktör ağırlıkları	Hata türleri					
			1	2	3	4	5	6
Ortaya Çıkma Sıklığı	TÜ1 (0,30)	ÇY	H <sub>55</sub>	H <sub>55</sub>	H <sub>25</sub>	H <sub>45</sub>	H <sub>44</sub>	H <sub>22</sub>
	TÜ2 (0,15)	O	H <sub>45</sub>	H <sub>45</sub> (0,30) H <sub>44</sub> (0,70)	H <sub>33</sub>	H <sub>23</sub>	H <sub>44</sub>	H <sub>12</sub> (0,70) H <sub>22</sub> (0,10)
	TÜ3 (0,20)	O	H <sub>44</sub>	H <sub>34</sub>	-	H <sub>33</sub>	-	H <sub>22</sub>
	TÜ4 (0,35)	Y	H <sub>55</sub>	H <sub>45</sub>	H <sub>22</sub>	H <sub>33</sub> (0,90)	H <sub>45</sub>	H <sub>22</sub>
Önem	TÜ1 (0,30)	Y	H <sub>23</sub>	H <sub>44</sub>	H <sub>34</sub>	H <sub>25</sub>	H <sub>12</sub>	-
	TÜ2 (0,15)	Y	H <sub>33</sub>	H <sub>34</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>33</sub>
	TÜ3 (0,20)	O	H <sub>23</sub> (0,90)	H <sub>45</sub>	H <sub>23</sub> (0,95)	H <sub>12</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>33</sub> (0,90)
	TÜ4 (0,35)	ÇY	H <sub>23</sub> (0,50) H <sub>33</sub> (0,50)	H <sub>55</sub>	H <sub>33</sub>	H <sub>22</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>34</sub> (0,70) H <sub>33</sub> (0,30)
Keşfedilebilirlik	TÜ1 (0,30)	D	H <sub>22</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>34</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>23</sub>	H <sub>12</sub>
	TÜ2 (0,15)	O	H <sub>44</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>33</sub>	H <sub>23</sub>	H <sub>12</sub> (0,90)	H <sub>22</sub>
	TÜ3 (0,20)	D	H <sub>35</sub>	H <sub>22</sub> (0,60) H <sub>23</sub> (0,35)	H <sub>23</sub> (0,30) H <sub>33</sub> (0,70)	H <sub>22</sub> (0,50) H <sub>33</sub> (0,50)	H <sub>22</sub>	H <sub>11</sub>
	TÜ4 (0,35)	O	H <sub>35</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>22</sub>	H <sub>22</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>12</sub>

Değerlendirmeden çıkan sonuçlar, **denklem 2.5**'te kullanılarak grup fikir yapıları elde edilir. Mesela ortaya çıkma sıklığı risk faktörü ve ilk hata türü için, bir hesaplama yapılırsa, ilk hata türü için dört takım üyesinin yaptıkları değerlendirmeler sırasıyla, H<sub>55</sub>, H<sub>45</sub>, H<sub>44</sub>, H<sub>55</sub>'tir. Dört takım üyesinin ağırlıkları ise sırasıyla, 0,30,

0,15, 0,20, 0,35'tir. Bu durumda grup fikir yapısı ;  $H_{55} (0,30+0,35)$ ,  $H_{45} (0,15)$  ve  $H_{44} (0,20)$  olur. Yani fikir yapıları, grup üyelerinin ağırlıkları ile çarpılır, fikir yapısının grup fikir yapısı içindeki oranı belirlenir.

Bulanık mantıkla kanıtsal sonuçlama (BKS) yaklaşımının en önemli özelliklerinden biri eksik fikirlere, farklı oranlar verilerek yapılan değerlendirmelere olanak tanınmasıdır. Bununla beraber bir hata türü için bir takım üyesinin hiç değerlendirme yapmama şansıda yine bu yaklaşımda mümkündür. Mesela önem risk faktörü ve altıncı hata türü için hesaplama yapılırsa, ilk takım üyesi bir değerlendirmede bulunmamıştır, bu yüzden değerlendirme  $H_{15} (0,30)$  olarak ifade edilir.  $H_{15}$  eksik değerlendirmelerde, eksikliği doldurmak için ya da tamamen bir değerlendirme yapılmadığında kullanılır. İkinci takım üyesinin değerlendirmesi  $H_{33} (0,15)$ , üçüncü takım üyesinin değerlendirmesi  $H_{33} (0,20 \times 0,90)$  ve  $H_{15} (0,20 \times 0,10)$ , dördüncü takım üyesinin değerlendirmesi ise  $H_{34} (0,35 \times 0,70)$  ve  $H_{33} (0,35 \times 0,30)$  olarak hesaplanır. Yani son haliyle önem risk faktörü ve altıncı hata türü için grup fikir yapısı aşağıdaki gibidir;

Önem, Hata türü 6 ; {  $H_{15} (0,32)$ ,  $H_{33} (0,435)$ ,  $H_{34} (0,245)$  }

**Çizelge 4.2 :** Altı hata türünün dört takım üyesi tarafından grup değerlendirmesi.

Hata türü	Ortaya Çıkma Sıklığı	Önem	Keşfedilebilirlik
1	{ $H_{55} (0,65)$ , $H_{45} (0,15)$ , $H_{44} (0,20)$ }	{ $H_{23} (0,655)$ , $H_{33} (0,325)$ , $H_{15} (0,02)$ }	{ $H_{22} (0,30)$ , $H_{44} (0,15)$ , $H_{35} (0,55)$ }
2	{ $H_{55} (0,30)$ , $H_{45} (0,395)$ , $H_{44} (0,105)$ , $H_{34} (0,20)$ }	{ $H_{44} (0,30)$ , $H_{34} (0,15)$ , $H_{45} (0,20)$ , $H_{55} (0,35)$ }	{ $H_{12} (0,65)$ , $H_{11} (0,15)$ , $H_{22} (0,12)$ , $H_{23} (0,07)$ , $H_{15} (0,01)$ }
3	{ $H_{25} (0,30)$ , $H_{33} (0,15)$ , $H_{15} (0,20)$ , $H_{22} (0,35)$ }	{ $H_{34} (0,30)$ , $H_{12} (0,15)$ , $H_{23} (0,19)$ , $H_{15} (0,01)$ , $H_{33} (0,35)$ }	{ $H_{34} (0,3)$ , $H_{33} (0,29)$ , $H_{23} (0,06)$ , $H_{22} (0,35)$ }
4	{ $H_{45} (0,30)$ , $H_{23} (0,15)$ , $H_{15} (0,035)$ , $H_{33} (0,515)$ }	{ $H_{25} (0,30)$ , $H_{11} (0,15)$ , $H_{12} (0,20)$ , $H_{22} (0,35)$ }	{ $H_{12} (0,3)$ , $H_{23} (0,15)$ , $H_{22} (0,45)$ , $H_{33} (0,1)$ }
5	{ $H_{44} (0,45)$ , $H_{15} (0,20)$ , $H_{45} (0,35)$ }	{ $H_{12} (1,0)$ }	{ $H_{23} (0,3)$ , $H_{12} (0,485)$ , $H_{22} (0,2)$ , $H_{15} (0,015)$ }
6	{ $H_{22} (0,865)$ , $H_{12} (0,105)$ , $H_{15} (0,10)$ }	{ $H_{15} (0,32)$ , $H_{33} (0,435)$ , $H_{34} (0,245)$ }	{ $H_{12} (0,65)$ , $H_{22} (0,15)$ , $H_{11} (0,2)$ }

Tüm risk faktörleri ve hata türleri için fikir yapılarından elde edilen grup fikir yapıları değerlendirilmeleri **çizelge 4.2**'deki gibidir.

**Çizelge 4.3**'te, bulanık değerlendirme derecelerinin **denklem 2.8** kullanılarak durulaştırılmış değerleri görülmektedir. Hesaplama da kullanılan değerler **şekil 2.1**'deki üyelik diyagramından alınmaktadır. Mesela  $h_{22}$  için bu değer in hesaplanması aşağıdaki gibidir. Diğer tüm değerler aynı eşitlikten yararlanılarak bulunur.

$$h_{22} = \frac{(4-0)+(3-0)}{\{(4-0)+(3-0)\}-\{(1-10)+(2-10)\}} = 0,292 \quad (4.1)$$

**Çizelge 4.3** : Bulanık değerlendirme derecelerinin durulaştırılmış rasyonel sayı karşılıkları

Değerlendirme derecesi	Rasyonel değer	Değerlendirme derecesi	Rasyonel değer	Değerlendirme derecesi	Rasyonel değer
H <sub>11</sub>	0,130	H <sub>22</sub>	0,292	H <sub>34</sub>	0,567
H <sub>12</sub>	0,259	H <sub>23</sub>	0,433	H <sub>35</sub>	0,606
H <sub>13</sub>	0,394	H <sub>24</sub>	0,500	H <sub>44</sub>	0,708
H <sub>14</sub>	0,459	H <sub>25</sub>	0,541	H <sub>45</sub>	0,741
H <sub>15</sub>	0,500	H <sub>33</sub>	0,500	H <sub>55</sub>	0,870

Bulanık değerlendirme dereceleride durulaştırıldıktan sonra bu değerler, grup fikir yapılarının durulaştırılıp bir araya toplanması için yapılan hesaplamalarda kullanılır. Bu hesaplamalarda **denklem 2.8** ve **denklem 2.9** kullanılarak yapılır. **Çizelge 4.4**'te üç risk faktörü ve tüm hata türleri için bu değerler bulunmaktadır. Mesela ortaya çıkma olasılığı risk faktörü ve beşinci hata türü için durulaştırılmış değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\{H_{44}(0,45), H_{15}(0,20), H_{45}(0,35)\} = (0,45 \times 0,708) + (0,20 \times 0,500) + (0,35 \times 0,741) \quad (4.2)$$

**Çizelge 4.4 :** Durulaştırılmış ve bir araya getirilmiş değerlendirmeler.

Hata türü	Ortaya Çıkma Sıklığı	Önem	Keşfedilebilirlik
1	0,818	0,456	0,527
2	0,741	0,750	0,256
3	0,440	0,471	0,443
4	0,562	0,336	0,324
5	0,678	0,259	0,321
6	0,280	0,516	0,238

Bulanık mantıkla ilgili hesapların sonuncusu gri teori yönteminde kullanılacak olan ağırlıkların hesabıdır. Tüm risk faktörlerinin ilişkiyel önemlilik ağırlıkları **denklem 2.2** kullanılarak hesaplanıp bir araya getirilir. **Çizelge 4.5**'te ağırlıkların değerleri görülmektedir. Örnek olarak **çizelge 2.6**'daki bulanık kümelerdeki rakamlar, takım üyelerinin ağırlıkları ve **çizelge 4.1**'deki takım üyelerinin belirlediği faktör ağırlıklarını kullanarak, keşfedilebilirlik için grup ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Üç risk faktörü için ise ortadaki değerler **denklem 2.3**'den yararlanılarak kendi içinde oranlanır ve ağırlıklar elde edilir.

$$(0 \times 0,3)+(0,25 \times 0,15)+(0 \times 0,20)+(0,25 \times 0,35) = 0,125$$

$$(0,25 \times 0,3)+(0,5 \times 0,15)+(0,25 \times 0,20)+(0,5 \times 0,35) = 0,375 \quad (4.3)$$

$$(0,5 \times 0,3)+(0,75 \times 0,15)+(0,5 \times 0,20)+(0,75 \times 0,35) = 0,625$$

**Çizelge 4.5 :** Risk faktörlerinin grup ağırlıkları

	Ortaya Çıkma Sıklığı	Önem	Keşfedilebilirlik
Grup ağırlıkları	(0,488, 0,738, 0,913)	(0,538, 0,788, 0,95)	(0,125, 0,375, 0,625)
Ağırlıklar	0,39	0,41	0,20

Gri teori yöntemi adımları, grup ağırlıklarını hesapladıktan karşılaştırmalı seriyi belirleyerek başlar. **Çizelge 4.4**'teki veriler, karşılaştırmalı seriyi oluşturmak için kullanılırlar. **Denklem 2.9** ve **denklem 2.11**'den elde edilen karşılaştırmalı seri **denklem 4.4**'teki gibidir.

$$X' = X = \begin{matrix} 0,818 & 0,456 & 0,527 \\ 0,741 & 0,750 & 0,256 \\ 0,440 & 0,471 & 0,443 \\ 0,562 & 0,336 & 0,324 \\ 0,678 & 0,259 & 0,321 \\ 0,280 & 0,516 & 0,238 \end{matrix} \quad (4.4)$$

Standart seriler, sözel terimlerin en düşük değeri olan “çok düşük” olarak belirlenebilir.  $H_{11}$  terimi için durulaştırılmış değer 0,130 olmasına karşın, standart serilerde, üç değişken için 0 değeri alınabilir. Standart seri aşağıdaki gibidir.

$$X_0 = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{matrix} \quad (4.5)$$

Karşılaştırmalı ve standart seriler belirlendikten sonra bu iki serinin farkı  $\Delta_{0n}(1) = \|X_0(1) - X_n(1)\|$  formülünden hesaplanarak aşağıdaki matris oluşturulur.

$$D_0 = \begin{matrix} 0,818 & 0,456 & 0,527 \\ 0,741 & 0,750 & 0,256 \\ 0,440 & 0,471 & 0,443 \\ 0,562 & 0,336 & 0,324 \\ 0,678 & 0,259 & 0,321 \\ 0,280 & 0,516 & 0,238 \end{matrix} \quad (4.6)$$

İki seri arasında elde edilen fark değerleri, gri ilişkisel katsayı hesaplamasında kullanılır. Örnek olarak **denklem 2.14**'ten faydalanarak, 4. hata türü için hesaplanan gri ilişkisel katsayıları aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \gamma(X_0(1), X_4(1)) &= \frac{0.238+0.5 \times 0.818}{0.562+0.5 \times 0.818} = 0,666 \\ \gamma(X_0(2), X_4(2)) &= \frac{0.238+0.5 \times 0.818}{0.336+0.5 \times 0.818} = 0,868 \\ \gamma(X_0(3), X_4(3)) &= \frac{0.238+0.5 \times 0.818}{0.324+0.5 \times 0.818} = 0,882 \end{aligned} \quad (4.7)$$



Tüm hata türleri ve risk faktörleri için gri ilişkisel katsayılar aşağıdaki matristaki gibidir.

$$\gamma(X_0(1), X_n(1)) = \begin{matrix} 0,527 & 0,748 & 0,691 \\ 0,563 & 0,558 & 0,973 \\ 0,762 & 0,735 & 0,759 \\ 0,666 & 0,868 & 0,882 \\ 0,595 & 0,968 & 0,886 \\ 0,939 & 0,699 & 1,000 \end{matrix} \quad (4.8)$$

Gri teori yönteminde son olarak ilişkisel derece hesaplanır ve çıkan değerlere göre riskler önceliklendirilir. Değerler **denklem 2.15**'teki formülden bulunurlar. Örnek olarak beşinci hata türünün ilişkisel derecesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Gamma(X_m, X_n) = [(0,595 \times 0,39) + (0,968 \times 0,41) + (0,886 \times 0,20)] = 0,806 \quad (4.9)$$

Altı farklı hata türü için hesaplanan ilişkisel dereceler sırasıyla 0,650, 0,643, 0,750, 0,792, 0,806, 0,853'tür. Bu değerlerden yola çıkarak en küçük ilişkisel dereceye sahip olan riskin en önemli risk olduğunu kabul ederiz. Buna göre altı hata türü risk derecelerinin büyüklüklerine göre  $HT_2 > HT_1 > HT_3 > HT_4 > HT_5 > HT_6$  olarak sıralanır.

## 4.2. Riskler İçin Alınan Önlemler

Önceliklendirme analizi sonucunda, riski büyük hata türlerine karşı önleyici önlemler alınması gerekmektedir. Kamyon üreten firmada kullanılan hata yönetim sisteminin ikinci adımı olan hataların sınıflandırması ve önceliklendirmesi tamamlanmış olup, sonraki adımlara geçilir. Hataların sınıflandırması bulanık mantık ve gri teori esaslı hata türü ve etkileri analizi ile başarılı, hızlı ve sağlam bir şekilde yapıldıktan sonra gevşek ve sürtme hatalarının firma için risk taşıdığı ortaya çıkmıştır. Yönetici insiyatifine bağlı olarak ilk iki hata çalışılır.

Hata yönetim sisteminin üçüncü adımı olan hata analizinde gevşek ve sürtme hataları için A3 süreci başlatılır. İki hatanında kök sebebi bulunarak, hataların azaltılmasına ya da tamamen ortadan kaldırılmasına çalışılır.

Öncelikle en fazla risk taşıyan gevşek hatası ele alınırsa, hata tespit edilip, önceliklendirildikten sonra, hata ile ilgili acil önlemler alınmalıdır. Kamyon üretimi sırasında yapılan montajda, halter bağlantı tespitleri gevşek bırakılmıştır ve kalite sensöründe tespit edilen hata, B sınıfında değerlendirilmiştir. Riskli bir hata olduğu

analiz sonucunda çıkmıştır. Acil önlem olarak, hatanın yapıldığı ilgili istasyonun çalışanları bilgilendirilir, bandın sonundaki son kontroldeki çalışanlara hata hakkında bilgi verilir ve banttaki diğer araçların aynı hata kapsamında kontrolleri yapılır. Daha sonra sebep-etki diyagramı, ilgili bandın kalite çalışanı, şefi ve ustabaşının katılımıyla bir beyin fırtınası yapılarak doldurulur. Bu hata için yapılan sebep-etki diyagramında, insan, makine, çevre, malzeme ve yöntem alt başlıkları altında bir değerlendirme yapılmış ve insan alt başlığındaki kontrol eksikliği, dikkatsizlik, motivasyon eksikliği ve montaj hatası, yöntem alt başlığındaki “iş adımı doğru uygulanmış mı?” ve “kontrol listesinde mühür hanesi var mı?” sebepleri, kök sebep olabilecekleri için, beyin fırtınası sonucunda çıkan fikirlerin içinden işaretlenmişlerdir. Bu sebepler arasından “iş adımı doğru uygulanmış mı?” kök sebep olarak seçilmiştir ve bu kök sebebe 5 neden analizi yapılmıştır. 5 neden analizinin adımları aşağıdaki gibi olmuştur.

Neden - Gevşek?

Cevap - Çalışan montaj iş adımını yarım bırakmış.

Neden - Yarım bırakmış?

Cevap – Çalışan haltere bağlantı yaptıktan sonra civataları sıkmadan kelepçe sıkma işlemine geçmiş ve haltere bağlantı civatalarını sıkmayı unutmuş.

Neden – Unutmuş?

Cevap – Çalışan dikkatsizliği

Doğrudan sebebe üç kez neden diye sorularak, hatanın gerçek sebebi bulunmuştur. Hatanın gerçek sebebi çalışanın dikkatsizliği olarak tespit edilmiştir. Bu tespitin sonunda alınacak önlem hatayı yapan çalışana tek nokta eğitimi verilmesi ve dinamik kontrol listesi ile aynı hata kapsamında takip eden 60 aracı kontrol ederek, hatanın tekrarlanmadığından emin olmaktır.

Diğer risk taşıyan hata türü sürtme içinde aynı adımlar uygulanmıştır. Sürtme hatası, örnek olarak montaj kapsamında kullanan bir kelepçenin, ön aks ABS sensörüne sürtmesi, kalite sensöründe B hata sınıfında değerlendirilmiş ve üç risk faktörüne göre değerlendirildiğinde fazla risk taşıyan bir hata türü olduğu için, hata analiz edilmiştir.

İlk olarak acil önlemler alınır. Bu önlemler, hatanın yapıldığı istasyon çalışan uyarılır, bant sonunda bulunan son kontrol çalışanına hata hakkında bilgi verilir ve

imalat aşamasındaki araçların kontrolü gerçekleştirilir. Bundan sonra, sebep-etki diyagramı çalışması yapılır. Sürtme hatası için yapılan çalışmada insan altbaşlığında kontrol eksikliği, makina alt başlığında “tork aleti uygun mu?”, yöntem alt başlığı altında “iş adımı mevcut mu?”, “talimata uyulmuş mu?”, “montaj resmi var mı?” ve “kontrol listesinde mühür hanesi var mı?” sebepleri kök sebep adayları olarak değerlendirilmiştir. Yapılan beyin fırtınası sonucunda bu sebepler içerisinde “talimata uyulmuş mu?” doğrudan sebep olarak değerlendirilmiş ve kök sebebi belirlemek için beş neden analizine geçilmiştir. Beş neden analizi aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Neden - Talimata uyulmamış?

Cevap – Kelepçe montajı yapıldıktan sonra uygunluk kontrolü yapılmamış.

Neden – Neden kontrol yapılmamış?

Cevap – Çalışan montaj sonrasında montaj uygunluğunu kontrol etmeyi unutmuş.

Beş neden analizinin sonucuna göre sürtme hatasının kök sebebi çalışan hatası olarak belirlenir. Bunun sonrasında, bu kök sebebe yönelik alınacak önlemler etkin hale getirilir. Bu önlemler çalışana tek nokta eğitimi verilmesi, dinamik kontrol listesi kontrolü ile banttaki diğer araçlara da aynı hata türü için kontrol yapılması ve istasyondaki iş adımlarına yönelik talimatlarda iyileştirme, güncelleme yapılmasıdır. Zamanla iki hata türü içinde alınan önlemlerin etkinliği kontrol edilir ve hatalar kapatılır.

### **4.3. Geleneksel HTEA**

Bulanık mantık ve gri teori esaslı yaklaşım, geleneksel HTEA'nın kısıtlamalarına karşı ortaya atılmıştır. Bu yaklaşımın geleneksel HTEA'ya karşı üstün taraflarını daha iyi görebilmek için aynı hata türleri geleneksel HTEA ile analiz edilmiştir. Sürtme, gevşek, hatalı montaj, zayıf boya, çizik ve kaynak çapağı hataları yine kamyon üretimi yapan firmanın imalat, planlama, lojistik ve geliştirme bölümlerinde görev alan dört mühendis tarafından, geleneksel RÖS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Dört uzman bu kez, üç risk faktörüne göre değerlendirilen her bir hata türü için tek bir yorumda bulunurlar. **Çizelge 4.6'**da bu değerlendirme görülmektedir.

**Çizelge 4.6 :** Geleneksel HTEA’da takım üyelerinin değerlendirmeleri ve RÖS değerleri

	Ortaya Çıkma Sıklığı	Önem	Keşfedilebilirlik	RÖS (Risk öncelik sayısı)
Sürtme	9	6	7	$9 \times 6 \times 7 = 378$
Gevşek	8	8	4	$8 \times 8 \times 4 = 256$
Hatalı montaj	4	5	6	$4 \times 5 \times 6 = 120$
Zayıf boya	5	4	5	$5 \times 4 \times 5 = 100$
Çizik	7	2	4	$7 \times 2 \times 4 = 56$
Kaynak çapağı	3	7	3	$3 \times 7 \times 3 = 63$

Analiz sonucunda hata türleri  $HT_1 > HT_2 > HT_3 > HT_4 > HT_6 > HT_5$  olarak sıralanmıştır. Bu sonuç bulanık mantık ve gri teori esaslı yaklaşımla yapılan sıralamadan farklı çıkmıştır.

Bu iki analizin, aynı uzmanlarla, aynı hata türleri için ardına yapılması, geleneksel HTEA’nın bazı kısıtlamalarının daha iyi görülmesini sağlamıştır.

Daha öncede açıklandığı gibi, geleneksel HTEA’da risk faktörleri için göreceli önemlilik katsayıları bulunmamaktadır. Geleneksel HTEA çalışmasında bu gözardı edilir. Bu çalışmada, iki ya da daha fazla farklı hata modu için RÖS aynı değeri vermedi ancak eğer verseydi o hata türleri için gizli riskler bilinmeyecekti ve bir önceliklendirme yapılırken hangisinin öne alınacağı konusunda kafa karışıklığı ortaya çıkacaktı. RÖS geleneksel hesabının matematiksel formülü, değişimlere çok hassas yapıdadır. Hata türü değerlendirmelerinde bir ya da iki değerlik bir artış, eğer çok büyük bir rakam değerlendirmede kullanıldıysa, RÖS değerini çok yüksek bir değere çıkarmaktadır. Formülün değişime bu kadar hassas olması, önceliklendirmede hataya sebep olabilmektedir. Bununla beraber geleneksel HTEA’da üç adet risk faktörü bulunmaktadır ve bu arttırılamamaktadır.

BKS yaklaşımında, takım üyelerinin değerlendirme bilgilerinin farklılığı ve belirsizliği modellenebilmiştir. Her takım üyesi ayrı ayrı değerlendirme yapabilmiş, değerlendirmelerinde daha özgür ve esnek olmuşlardır. Geleneksel HTEA’da takım üyeleri bir hata türünü, bir risk faktörü için değerlendirirken bir değer üzerinde uzlaşmak zorunda kalmaktadır. Bu durum çalışmanın daha katı ve yavaş olmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda değerlendirmelerde daha az gerçekçi olmaktadır.

Gri analiz, sistem davranışını, ilişkilendirme analizi yaparak ve model kurarak keşfeder. Bu durum çıkan sonucun gerçekliği ve sağlamlığı konusunda soru işareti bırakmamaktadır.

#### 4.4. Duyarlılık Analizi

Bulanık mantık ve gri teori esaslı HTEA çalışmasında son olarak, hesaplamalarda kullanılan parametrelerin hangilerinin sonuca en fazla etkisi olduğunun tespiti bu bölümde yapılacaktır. Ele alınacak parametreler sırasıyla, risk faktörlerinin grup ağırlıkları, standart seride alınan değerler ve gri ilişkisel katsayı hesaplamasında kullanılan belirleyicidir. Bu üç parametre, değerlerinin analizi yapan uzmanlar tarafından değiştirilebilirliği ve en son elde edilen değer olan ilişkisel derece değerlerini değiştirme potansiyeli yüksek olduğu için seçilmiştir

Risk faktörünün grup ağırlığı **denklem 2.2** ve **denklem 2.3** kullanılarak hesaplanmaktadır. Risk faktörlerinden önemin sayısal değeri aynı bırakılıp ortaya çıkma sıklığı ve keşfedilebilirlik risk faktörlerinin değerleri değiştirilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Değer **çizelge 4.7**'deki gibidir.

**Çizelge 4.7** : Risk faktörlerinin yeni grup ağırlıkları.

Ağırlıklar	Ortaya Çıkma Sıklığı	Önem	Keşfedilebilirlik
1	0,29	0,41	0,3
2	0,34	0,41	0,25
3	0,39	0,41	0,20
4	0,44	0,41	0,15
5	0,49	0,41	0,1

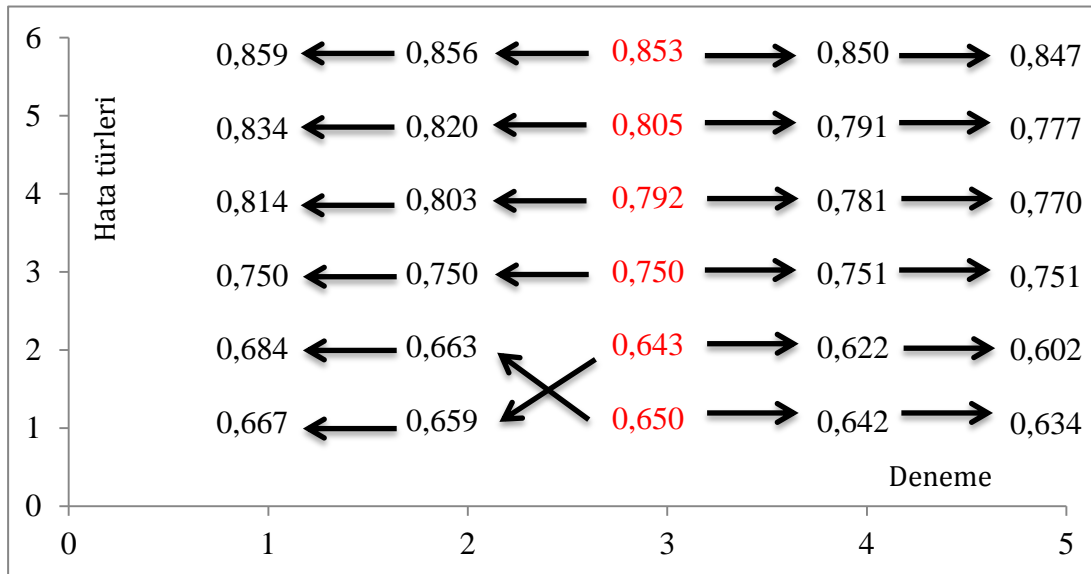
**Denklem 4.8**'deki değerler kullanılarak yeni ilişkisel dereceler yeniden hesaplanırsa çıkan sonuçlar sırasıyla **çizelge 4.8**'deki gibidir.

**Çizelge 4.8 :** Değişen grup ağırlıkları değerleri için yeni ilişkisel derece değerleri.

İlişkisel Dereceler				
1	2	3	4	5
0,667	0,659	0,650	0,642	0,634
0,684	0,663	0,643	0,622	0,602
0,750	0,750	0,750	0,751	0,751
0,814	0,803	0,792	0,781	0,770
0,834	0,820	0,805	0,791	0,777
0,859	0,856	0,853	0,850	0,847

**Çizelge 4.9'** da da görüldüğü gibi, bu durumda hata türlerinin risk öncelik sıralaması birinci ve ikinci grup ağırlıkları değerlerinde  $HT_1 > HT_2 > HT_3 > HT_4 > HT_5 > HT_6$  iken, dördüncü ve beşinci grup ağırlıkları değerlerinde, analizdeki gibi  $HT_2 > HT_1 > HT_3 > HT_4 > HT_5 > HT_6$  olacaktır. Ortaya çıkma olasılığı grup ağırlığı değeri arttığında ilişkisel derece değerleri küçülürken, keşfedilebilirlik risk faktörü grup ağırlığı arttıkça değerler büyümüştür. Sonuç ise ilk iki hata modu dışında değişmemiştir.

**Çizelge 4.9 :** Değişen grup ağırlıkları değerleri için sıralamadaki değişimler.



Bu analizden çıkan önemli bir sonuç, kamyon imalatında çıkan hataların keşfedilebilirlik oranı yükselirse, sürtme hatası, gevşek hatasından daha riskli bir

duruma gelecektir. Risk faktörlerinin grup ağırlıklarının değişimi, risk önceliklendirme sıralamasını değiştirebilecek bir parametredir.

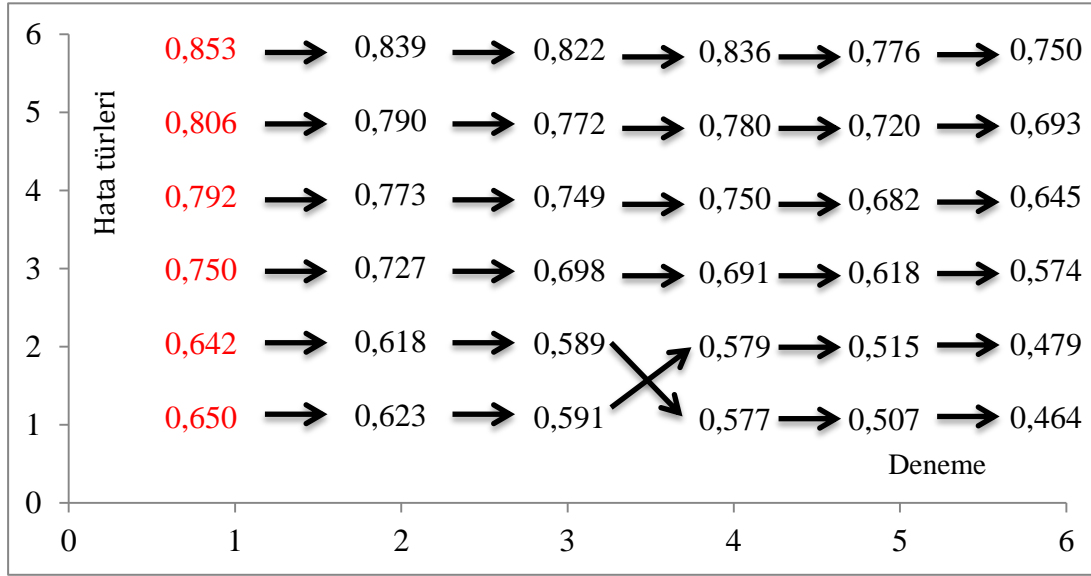
Bu başlık altında değerlendirilecek diğer parametre, standart seride alınan değerlerdir. **Denklem 4.5**'te tüm değerler minimum seviye baz alınarak sıfır olarak alınmıştır. Bu değerler sıfırdan başka, 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,238 olarak alınırsa sonuca olan etkisini görebilmek için hesaplama karşılaştırmalı seri ile standart serinin farkından itibaren tekrar yapılmıştır. Yeni standart serilerle hesaplanan ilişkisel derece değerleri **çizelge 4.10**'daki gibidir.

**Çizelge 4.10** : Değişen standart seri değerleri için yeni ilişkisel derece değerleri.

Standart seri değerleri	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,238
İlişkisel derece değerleri	0,650	0,623	0,591	0,577	0,507	0,464
	0,642	0,618	0,589	0,579	0,515	0,479
	0,750	0,727	0,698	0,691	0,618	0,574
	0,792	0,773	0,749	0,750	0,682	0,645
	0,806	0,790	0,772	0,780	0,720	0,693
	0,853	0,839	0,822	0,836	0,776	0,750

Hesaplanan yeni ilişkisel derecelere göre riskler önceliklendirildiğinde, 0,15 değerinden itibaren risk sıralamasının değiştiği görülmektedir. **Çizelge 4.11**'de de görüleceği gibi, sıralama 0, 0,05 ve 0,1 değerleri için  $HT_2 > HT_1 > HT_3 > HT_4 > HT_5 > HT_6$  olurken, 0,15, 0,2 ve 0,238 değerleri için  $HT_1 > HT_2 > HT_3 > HT_4 > HT_5 > HT_6$  olmuştur. Standart seride alınan değer büyüdükçe sıralama değişmiş, sürtme, gevşekten daha öncelikli bir risk haline gelmiştir. Bu sonuç standart seri değerlerindeki önceliklendirme sıralamasına etki ettiğini göstermiştir.

**Çizelge 4.11 :** Değişen standart seri değerleri için sıralamadaki değişimler.



Son olarak ise gri ilişkisel katsayı hesaplamasında kullanılan belirleyici duyarlılık analizinde ele alınacak parametredir. 0 ve 1 değerleri arasında değişebilen bu parametre için, gri ilişkisel katsayı ve ilişkisel derece değerlerinin hesaplandığı **denklem 2.14** ve **denklem 2.15** tekrar yapılır. 10 adet farklı değer için yapılmış hesaplamalar sonucunda bulunan ilişkisel derece değerleri **çizelge 4.12**'deki gibidir.

**Çizelge 4.12 :** Değişen gri ilişkisel katsayı hesaplamasında kullanılan belirleyici için yeni ilişkisel derece değerleri.

Standart seri değerleri	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
İlişkisel derece değerleri	0,418	0,487	0,542	0,585	0,621	0,651	0,676	0,698	0,717	0,734	0,749
	0,441	0,499	0,545	0,583	0,615	0,643	0,667	0,688	0,706	0,722	0,737
	0,526	0,598	0,651	0,692	0,724	0,751	0,772	0,790	0,806	0,819	0,831
	0,602	0,665	0,710	0,744	0,771	0,792	0,810	0,825	0,838	0,849	0,859
	0,662	0,708	0,741	0,768	0,789	0,807	0,821	0,834	0,845	0,854	0,863
	0,721	0,764	0,795	0,819	0,838	0,853	0,866	0,876	0,885	0,893	0,900



**Çizelge 4.12**'deki sonuçlara göre, gri ilişkisel katsayı hesaplamasında kullanılan belirleyici değeri arttıkça, ilişkisel derece değerleri de yükselmiş, azaldıkça ilişkisel derece değerleri de azalmıştır. **Çizelge 4.13**'te de görüleceği gibi, belirleyici 0.2 ve aşağısında bir değer alınırsa, risk önceliklendirme sıralaması değişmekte ve sürtme hatası, gevşek hatasından daha riskli duruma gelmiştir. Bu sonuç ilişkisel katsayı hesaplamasında kullanılan belirleyicinin, önceliklendirme sıralamasına etki ettiğini göstermiştir.

**Çizelge 4.13** : Değişen gri ilişkisel katsayı hesaplamasında kullanılan belirleyici için sıralamadaki değişimler.

6	0,721	0,764	0,795	0,819	0,838	0,853	0,866	0,876	0,885	0,893	0,900	
5	0,662	0,708	0,741	0,768	0,789	0,807	0,821	0,834	0,845	0,854	0,863	
4	0,602	0,665	0,710	0,744	0,771	0,792	0,810	0,825	0,838	0,849	0,859	
3	0,526	0,598	0,651	0,692	0,724	0,751	0,772	0,790	0,806	0,819	0,831	
2	0,441	0,499	0,545	0,583	0,615	0,643	0,667	0,688	0,706	0,722	0,737	
1	0,418	0,487	0,542	0,585	0,621	0,651	0,676	0,698	0,717	0,734	0,749	
0												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11



## 5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

HTEA riskleri önceliklendirmek için birçok endüstride kullanılan önemli bir araçtır. HTEA'nın yetersiz kaldığı noktalarda bu analizi geliştirmek, daha iyi hale getirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan biride bulanık mantık ile gri teori yöntemini HTEA ile birleştiren yaklaşımdır. Bu yaklaşımın sonuçları aynı çalışma için geleneksel HTEA ile karşılaştırıldığında, aynı çıkma ihtimali olsada, sonuçların daha kesin olacağı konusunda kafalarda daha az soru işareti bırakmaktadır. Yaklaşımın geleneksel HTEA'ya getirdiği en önemli yenilikler daha esnek, kolay ve hızlı olmasıdır. Zamanın çağımızda çok değerli olduğu herkes tarafından bilinen bir gerçektir ve iş dünyasında hızlı ve kesin olmak aranan, istenen bir olgudur. Yeni yaklaşımın HTEA analizi kullanılan yerlerde bu ihtiyaçlara detaylı ve sağlam bir analizle cevap vermesi beklenmektedir.

Bu yaklaşımda, risk faktörleri ve uzmanlar içinde ilişkisel önemlilik ağırlıkları belirlenir. Bu durumda sonuçların daha gerçekçi ve kesin olmasına yardımcı olur. Uzmanların değerlendirmelerde bulanık mantık yaklaşımı sayesinde daha esnek, daha özgür olmaları sağlanır. Bu yaklaşımda uzmanlar birbirinden bağımsız olarak karar verebilirler.

Otomotiv sektöründe imalat oldukça zor, detaylı, karışık ve bolca hata ve risk barındıran süreçleri içerir. Dünyanın en önemli sektörlerinden birinde riskleri önceden, doğru, hızlı, bir daha geriye dönmeye gerek kalmadan ve kesin bir şekilde belirlemek oldukça önemlidir. Bu yüzden bulanık mantık ve gri teori esaslı HTEA yaklaşımının bu sektörde, özellikle imalat kısmında oldukça yararlı olacağından şüphe yoktur.



## KAYNAKLAR

- [1] **Kenett R., Raanan Y.** Operational Risk Management: A Practical Approach to Intelligent Data Analysis.
- [2] **Byrd, D., Cothorn R.** (2005). Introduction to Risk Analysis, Government Institutes, Sf. 1-3.
- [3] A Risk Management Standard, (2002). AIRMIC, ALARM, IRM.
- [4] **Bourn J.** (2000). Supporting innovation: Managing risk in government departments, National Audit Office.
- [5] Charities and Risk Management, (2010). Charity Commission for England and Wales
- [6] Operational Risk, (2001). Basel Committee on Banking Supervision
- [7] Operational Risk Management, (2002). Marine Corps Institute, Sf. 1.
- [8] **Aven T.** (2008), Risk Analysis: Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities, John Wiley & Sons.
- [9] Operational Risk Management, (2000). FAA System Safety Handbook, Sf. 3-4, Adres: <http://www.faa.gov/>.
- [10] Guidance for Industry Q9 Quality Risk Management, (2006). U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER), Center for Biologics Evaluation and Research (CBER), Sf.4.
- [11] **Tuncel G., Alpan G.** (2009). Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. Computers in Industry, sayı 61, Sf. 250-259.
- [12] **Wang M.** (2011). A Cost-Based FMEA Decision Tool for Product Quality Design and Management, Sf. 297-302.
- [13] **Kadıoğlu M., Uçmuş E., Gönen D.**(2009). Makine imalatı yapan bir işletmede tasarım hata türüve etkileri analizi ile hata kaynaklarının belirlenmesi ve kalitenin iyileştirilmesi, BAÜ FBE Dergisi Cilt:11, Sayı:1, Sf. 42-55.
- [14] **Liu H., Liu L., Liu N.** (2012). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, Adres:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>.
- [15] **Geum Y., Cho Y., Park Y.** (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modeling*, sayı 54, Sf. 3126-3142.
- [16] **Liu H., Liu L., Bian Q., Lin Q., Dong N., Xu P.** (2010). Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *Expert Systems with Applications*, sayı 38, Sf. 4403-4415.

- [17]**Mraz M.** (2010). Failure Mode and Effects (and Criticality) Analysis, Fault Tree Analysis Report, Faculty of Computer and Information Science, University of Ljubljana.
- [18]**Yang J., Xu D.** (2002). On the Evidential Reasoning Algorithm for Multiple Attribute Decision Analysis Under Uncertainty, *Ieee Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part A: Systems And Humans*, sayı 32.
- [19]T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Otomotiv Sektörü Raporu (2012/1), Sf. 9-10
- [20]Otomotiv Sanayi Derneği, Aralık 2011 Raporu.
- [21]Deloitte, (2009). Türkiye Otomotiv Sektörü Raporu.
- [22]T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü, (2011).Türkiye Otomotiv Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2011-2014, Sf. 8-12.
- [23]**Hoyle D.**, (2005), “Automotive Quality Systems Handbook: ISO/Ts 16949:2002 Edition, Bölüm 3, Sf. 95-96
- [24]Toyota production system basic handbook, Art of Lean Inc.
- [25]**Card D.** (1998). Learning from Our Mistakes with Defect Causal Analysis, Software productivity consortium
- [26]**Shook, J.** (2009). Toyota’s Secret The A3 Report, MitSloan Management Review, Vol. 50 No.4
- [27]**Hekmatpanah M.** (2011). The application of cause and effect diagram in the oil industry in Iran: The case of four liter oil canning process of Sepahan Oil Company, *African Journal of Business Management* Vol. 5(26), Sf. 10900-10907
- [28]**Namken, Jerry C. and Galen W. Rapp.** (1997). Strategic Planning Handbook for Cooperatives. United States Department of Agriculture, Cooperative Information Report 48, Adres: <http://www.rurdev.usda.gov/RBS/pub/cir48.pdf>
- [29]**Sondalini M.**Understanding How to Use The 5-Whys for Root Cause Analysis, Lifetime Reliability Solutions. Adres: [www.lifetime-reliability.com](http://www.lifetime-reliability.com)
- [30]**Saurin T. A., Ribeiro J. Vidor G.** (2012). A framework for assessing poka-yoke devices, *Journal of Manufacturing Systems*, sayı 31, Sf. 358–366



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Mehmet Turgut

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Adana, 15.06.1986

**Adres:** Nispetiye Cad. Rumelihisarüstü 6. Sok. Şahinler Apt. No:11/8 34470

Sarıyer/İstanbul

**E-Posta:** [turgutmeh@itu.edu.tr](mailto:turgutmeh@itu.edu.tr)

**Lisans:** İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği

**Mesleki Deneyim ve Ödüller:** Pharmavision A.Ş.'de kalite kontrol analisti

(2011-2012), Mercedes Benz Türk A.Ş.'de üretim  
mühendisi (2012-...)