

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE ENDÜSTRİ İŞLETMECİLİĞİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİR RİSK DEĞERLENDİRME VE GÜVENİLİRLİK METODU
OLARAK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA)
YÖNTEMİ: BİR OTOMOTİV YAN SANAYİ İŞLETMESİNDE
UYGULANMASI**

Korkut TAŞAN

Danışman
Prof. Dr. Muammer DOĞAN

2006

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bir Risk Değerlendirme ve Güvenilirlik Metodu Olarak Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) Yöntemi: Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde Uygulanması” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin bibliyografyada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

28/07/2006

Korkut TAŞAN

İmza

YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV TUTANAĞI

Öğrencinin

Adı ve Soyadı :
Anabilim Dalı :
Programı :
Tez Konusu :
Sınav Tarihi ve Saati :

Yukarıda kimlik bilgileri belirtilen öğrenci Sosyal Bilimler Enstitüsü'nün tarih ve Sayılı toplantısında oluşturulan jürimiz tarafından Lisansüstü Yönetmeliğinin 18.maddesi gereğince yüksek lisans tez sınavına alınmıştır.

Adayın kişisel çalışmaya dayanan tezini dakikalık süre içinde savunmasından sonra jüri üyelerince gerek tez konusu gerekse tezin dayanağı olan Anabilim dallarından sorulan sorulara verdiği cevaplar değerlendirilerek tezin,

BAŞARILI O OY BİRLİĞİ ile O
DÜZELTME O* OY ÇOKLUĞU O
RED edilmesine O** ile karar verilmiştir.

Jüri teşkil edilmediği için sınav yapılamamıştır. O***
Öğrenci sınava gelmemiştir. O**

* Bu halde adaya 3 ay süre verilir.

** Bu halde adayın kaydı silinir.

*** Bu halde sınav için yeni bir tarih belirlenir.

Evet

Tez burs, ödül veya teşvik programlarına (Tüba, Fullbright vb.) aday olabilir. O
Tez mevcut hali ile basılabilir. O
Tez gözden geçirildikten sonra basılabilir. O
Tezin basımı gerekliliği yoktur. O

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

..... Başarılı Düzeltme Red

..... Başarılı Düzeltme Red

..... Başarılı Düzeltme Red

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Bir Risk Değerlendirme ve Güvenilirlik Metodu Olarak Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) Yöntemi: Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde Uygulanması

Korkut TAŞAN

**Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimleri Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Üretim Yönetimi ve Endüstri İşletmeciliği Programı**

Günümüzde; yoğun rekabet, firmaları daha ucuz, daha iyi, daha çabuk ve daha güvenilir ürünler geliştirmeye zorlamaktadır.

Rekabet giderek arttığı sürece, ürünler giderek daha karmaşık hale gelmeye başlamakta ve firmaların rekabetçi olarak kalabilmeleri daha da zorlaşmaktadır. Bununla birlikte, karmaşık ürünlerin tasarımı ayrı alanlarda çalışan yüzlerce mühendisin koordinasyonunu gerektirebilir. Her bir tasarım çalışması birçok başka çalışmayı etkileyebilir ve aradaki bilgi akışı oldukça karmaşık hale gelebilir. Bu tip bir karmaşıklık ise; tasarım kararlarının yanlış anlaşılmasına, tasarımın sıklıkla tekrarlanmasına ve olası hatalara öncülük edebilir. Bu nedenle, güçlü bir risk değerlendirme ve güvenilirlik programının yönetilebilmesi için yapısal bir metodun kullanılması kaçınılmazdır.

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA); sistem, ürün, proses ve hizmetten kaynaklanan bilinen ve/veya olası hataların müşteriye ulaşmadan önce tanımlanması, analizi ve ortadan kaldırılması veya en aza indirgenmesi için kullanılan yapısal bir metottur. Diğer metotlar ile karşılaştırıldığında; HTEA, kolay kullanım, nerede ise tüm sektörlerde uygulanabilir olma ve daha anlamlı sonuçlar sunma gibi avantajlara sahiptir.

HTEA benzeri birçok metot halen daha ürün merkezli olmak yerine proses merkezlidir. Bazı firmaların Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi'ni

farkında olmalarına karşın, Türkiye’de çok yaygın bir uygulaması yoktur ve birçok firma Hata Türü ve Etkileri Analizi’ni bir bütün olarak tasarım sürecine uygulamamıştır.

Bu çalışmada; bir risk değerlendirme ve güvenilirlik metodu HTEA detaylı olarak tartışılmış ve bir otomotiv sanayi işletmesinde güvenilirlik bağlantıları ile beraber Tasarım HTEA uygulaması gerçekleştirilmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 1)Hata Türü ve Etkileri Analizi, 2)Güvenilirlik, 3)Risk Değerlendirme, 4)Otomotiv

ABSTRACT

Master's Degree Thesis

**Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) as a Risk Assessment and
Reliability Method: An Application in Automotive Parts Industry**

Korkut TAŞAN

**Dokuz Eylül University
Institute of Social Sciences
Department of Business Administration
Production Management and Industrial Business Administration**

Today, intense competition forces companies to develop products cheaper, better, faster and more reliable.

As competition continues to increase, products are becoming increasingly complex and companies are finding it more difficult to stay competitive. However, design of a complex product may involve the coordination of hundreds of engineers performing different tasks separately. Each design task may affect many other tasks and the information interaction between them can become quite complex. Such complexity can often lead to conflicting design decisions and cause many redesigns, significant delays and finally potential failures. Hence, using a structured method to manage a powerful reliability and risk assessment program is essential.

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is a structured that is used to identify, analyze and eliminate or minimize known and/or potential failures from the system, product, process and service before they reach the customer. Comparing to the other methods, FMEA has several advantages such as easy to use, applicable to nearly every industries and submitting more meaningful results.

Most of the FMEA-like methods in use are still process centered rather than product centered. Though some companies are aware of the use of Design

FMEA, it is not a common practice in Turkey, and many companies haven't applied FMEA to the design process as a whole.

In this study, FMEA has been discussed in detail as a risk assessment and reliability method and an application of Design FMEA with reliability linkages in automotive parts industry has been performed. Finally, results obtained have been evaluated.

Keywords: 1)Failure Mode and Effects Analysis, 2)Reliability, 3)Risk Assessment, 4) Automotive

**BİR RİSK DEĞERLENDİRME VE GÜVENİLİRLİK METODU OLARAK
HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA) YÖNTEMİ: BİR
OTOMOTİV YAN SANAYİ İŞLETMESİNDE UYGULANMASI**

İÇİNDEKİLER

YEMİN METNİ.....	II
TUTANAK.....	III
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	VI
İÇİNDEKİLER.....	VIII
KISALTMALAR.....	XII
ŞEKİL LİSTESİ.....	XIII
TABLO LİSTESİ.....	XV
EK LİSTESİ.....	XVI
GİRİŞ.....	XVII

**BİRİNCİ BÖLÜM
GÜVENİLİRLİK VE RİSK DEĞERLENDİRME**

1.1. Güvenilirlik.....	1
1.1.1. Otomotiv Sektöründe Güvenilirlik.....	4
1.1.2. Güvenilirliğin Etkinlik Ölçütleri.....	6
1.1.3. Gürültü Faktörleri.....	8
1.1.4. Güvenilirlik Yaşam Ömrü Eğrisi.....	10
1.1.5. Ürün Ömrü Boyunca Oluşabilecek Hataların Maliyeti.....	13
1.2. Risk Değerlendirme.....	16
1.2.1. Risk Değerlendirme ve Risk Yönetimi Proses Akışı.....	17
1.2.2. Risk Matrisi.....	21
1.2.3. Risk Değerlendirmede Kullanılan Metotlar.....	22

İKİNCİ BÖLÜM

GENEL OLARAK HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ METODU

2.1.	Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Tanımı.....	26
2.2.	Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Tarihçesi.....	27
2.3.	Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Amaçları.....	30
2.4.	Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Türleri.....	30
2.5.	Hata Türü ve Etkileri Analizlerinin Sağladığı Ortak Yararlar.....	30
2.6.	Hata Türü ve Etkileri Analizi Ekiplerinin Profili.....	33
2.7.	Hata Türü ve Etkileri Analizi Ne Zaman Başlatılır ve Sonlandırılır?.....	35
2.8.	Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Sınırlarının Tanımlanması.....	36
2.9.	Hata Türü ve Etkileri Analizi Modeli (Süreç Akışı).....	37
2.10.	Hata Türü ve Etkileri Analizi ile İlgili Standartlar.....	40
2.11.	Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin İleri Ürün Kalite Planlaması İçerisindeki Yeri.....	43
2.12.	Diğer Metotlar ve Hata Türü ve Etkileri Analizi ile İlişkileri.....	44
2.12.1.	Kalite Fonksiyon Göçerimi.....	45
2.12.2.	Eş Zamanlı Mühendislik.....	46
2.12.3.	Kıyaslama.....	47
2.12.4.	Tasarımın Gözden Geçirilmesi.....	47

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TASARIM VE PROSES HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZLERİ

3.1.	Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi.....	50
3.1.1.	Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Girdileri.....	50

3.1.2. Tasarım HTEA- Uygulama Formu.....	56
3.1.2.1. Tasarım HTEA Fonksiyon.....	58
3.1.2.2. Tasarım HTEA Hata Türü.....	58
3.1.2.3. Tasarım HTEA Hata Etkileri.....	60
3.1.2.4. Tasarım HTEA Şiddet.....	62
3.1.2.5. Tasarım HTEA Hata Nedenleri.....	62
3.1.2.6. Tasarım HTEA Olasılık.....	65
3.1.2.7. Tasarım HTEA Mevcut Tasarım Kontrolleri.....	66
3.1.2.8. Tasarım HTEA Keşfedilebilirlik.....	69
3.1.2.9. Tasarım HTEA Risk Öncelik Göstergesi.....	72
3.1.2.10. Tasarım HTEA Önerilen ve Alınan Önlemler.....	72
3.1.3. Tasarım HTEA Çıktıları.....	73
3.1.4. Tasarım HTEA'nin Sağladığı Yararlar.....	76
3.2. Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi.....	77
3.2.1. Proses Hata Türü ve Etkileri Analizinin Girdileri.....	77
3.2.2. Proses HTEA Uygulama Formu.....	77
3.2.2.1. Proses HTEA Fonksiyon.....	78
3.2.2.2. Proses HTEA Hata Türü.....	78
3.2.2.3. Proses HTEA Hata Etkileri.....	81
3.2.2.4. Proses HTEA Şiddet.....	82
3.2.2.5. Proses HTEA Hata Nedenleri.....	85
3.2.2.6. Proses HTEA Olasılık.....	86
3.2.2.7. Proses HTEA Mevcut Proses Kontrolleri.....	90
3.2.2.8. Proses HTEA Keşfedilebilirlik.....	92

3.2.2.9. Proses HTEA Risk Öncelik Göstergesi.....	95
3.2.2.10. Proses HTEA Önerilen ve Alınan Önlemler.....	95
3.2.3. Proses HTEA Çıktıları.....	96
3.2.4. Proses HTEA'nin Sağladığı Yararlar.....	98

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM UYGULAMA

4.1. Uygulama Yeri.....	99
4.2. Uygulamanın Amacı ve Kapsamı.....	100
4.3. Uygulamada Kullanılan Yöntem.....	101
4.4. Uygulama Kapsamına Alınan Ürünün Tanıtımı.....	102
4.5. Uygulama Ekibi ve Uygulamanın Sınırları.....	104
4.6. Uygulamanın Girdileri.....	105
4.7. Uygulamanın Aşamaları.....	111
4.7.1. Birinci Uygulama Adımı.....	113
4.7.2. İkinci Uygulama Adımı.....	114
4.7.3. Üçüncü Uygulama Adımı.....	151
4.7.4. Dördüncü Uygulama Adımı.....	157
4.8. Uygulamanın Çıktıları.....	168
SONUÇ.....	170
KAYNAKLAR.....	179
EKLER.....	186

KISALTMALAR

APQP	İleri Ürün Kalite Planlaması
AIAG	Otomotiv Endüstrisi Aksiyon Grubu
ETA	Olay Ağacı Analizi
FTA	Hata Ağacı Analizi
HACCP	Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları
HAZOP	Tehlike ve İşletilebilme Analizi
HTEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi
JCAHO	Sağlık Organizasyonları Birleşik Akreditasyon Komisyonu
JSA	İş Güvenlik Analizi
MTBF	Bozuluncaya Kadar Geçen Ortalama Zaman
MTTF	Onarıncaya Kadar Geçen Ortalama Zaman
PHA	Başlangıç Tehlike Analizi
ppm	Milyonda bir
RÖG	Risk Öncelik Göstergesi
RRCL	Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi
s.	Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Satınalma Kararlarını Etkileyen Nedenler Araştırması - J.D. Power	s. 2
Şekil 1.2: Ürün Karmaşıklığının Tarihsel Gelişimi	s. 3
Şekil 1.3: Bazı Temel Sektörler Arasında Ürün Karmaşıklığı Karşılaştırması	s. 5
Şekil 1.4: Güvenilirlik Yaşam Ömrü Eğrisi	s. 11
Şekil 1.5: Güvenilirlik Yaşam Ömrü ile Gürültü Faktörleri Arasındaki İlişki	s. 13
Şekil 1.6: Ömür Çevrim Fazları ile Yüzde Maliyetler Arasındaki İlişki	s. 14
Şekil 1.7: Risk Değerlendirme ve Risk Yönetimi	s. 18
Şekil 1.8: Risk Değerlendirme İç Proses Akışı	s. 19
Şekil 1.9: Risk Yönetimi İç Proses Akışı	s. 20
Şekil 1.10: Risk Matrisi	s. 21
Şekil 2.1: HTEA Modeli	s. 39
Şekil 2.2: HTEA Süreç Akış Diyagramı	s. 41
Şekil 2.3: Belli Başlı HTEA Türleri Arasındaki İlişki	s. 44
Şekil 3.1: Sınır Diyagramı - Örnek	s. 52
Şekil 3.2: P-Diyagramı - Örnek	s. 54
Şekil 3.3: Robust Tasarım Doküman Akışı	s. 55
Şekil 3.4: Tasarım HTEA Uygulama Formu - Örnek	s. 57
Şekil 3.5: Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi - Örnek	s. 75
Şekil 3.6: Tasarım HTEA Kontrol Listesi - Örnek	s. 76
Şekil 3.7: Proses HTEA Uygulama Formu - Örnek	s. 79
Şekil 3.8: Proses HTEA Kontrol Listesi - Örnek	s. 97
Şekil 4.1: Tirsan Kardan A.Ş. Genel Görünüm	s. 100
Şekil 4.2: Komple Kardan Mili Detay Parçaları	s. 103
Şekil 4.3: Komple Kardan Mili Araç Üstü Yerleşimi	s. 104
Şekil 4.4: Sınır Diyagramı	s. 107
Şekil 4.5: P-Diyagramı	s. 110
Şekil 4.6: Tasarım HTEA Kapak Sayfası	s. 112
Şekil 4.7: Tasarım HTEA Genel Değerlendirme	s. 158
Şekil 4.8: Şiddet x Olasılık (Aksiyon Öncesi)	s. 164
Şekil 4.9: Şiddet x Olasılık (Aksiyon Sonrası)	s. 164

Şekil 4.10: Şiddet x Keşfedilebilirlik (Aksiyon Öncesi)	s. 165
Şekil 4.11: Şiddet x Keşfedilebilirlik (Aksiyon Sonrası)	s. 165
Şekil 4.12: Olasılık x Keşfedilebilirlik (Aksiyon Öncesi)	s. 166
Şekil 4.13: Olasılık x Keşfedilebilirlik (Aksiyon Sonrası)	s. 166
Şekil 4.14: Pareto Analizi (Aksiyon Öncesi)	s. 167
Şekil 4.15: Pareto Analizi (Aksiyon Sonrası)	s. 167
Şekil 4.16: Tasarım HTEA Kontrol Listesi	s. 169

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1: Farklı Sektörlerdeki Güvenilirlik Ölçütlerinin Karşılaştırılması	s. 7
Tablo 3.1: Tasarım HTEA Şiddet Değerlendirme Tablosu	s.63
Tablo 3.2: Tasarım HTEA Olasılık Değerlendirme Tablosu	s.66
Tablo 3.3: Tasarım HTEA Keşfedilebilirlik Değerlendirme Tablosu	s.71
Tablo 3.4: Proses HTEA Şiddet Değerlendirme Tablosu	s.83
Tablo 3.5: Proses HTEA Olasılık Değerlendirme Tablosu	s.86
Tablo 3.6: Proses Yeterlilik İndeksleri ile Olasılık Puanları Arasındaki İlişki	s.88
Tablo 3.7: Hata Oranları ile Olasılık Puanları Arasındaki İlişki	s.89
Tablo 3.8: Proses HTEA Keşfedilebilirlik Değerlendirme Tablosu	s.93
Tablo 4.1: Tasarım HTEA Potansiyel Özel Karakteristik Sınıflandırması	s. 115
Tablo 4.2: Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi	s. 117
Tablo 4.3: Önerilen Önlemlere Karşı Alınan Aksiyonlar	s. 152
Tablo 4.4: Maksimum/Toplam RÖG Değerleri ve Azalma Oranları	s. 159

EK LİSTESİ

Ek 1: Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi

GİRİŞ

Günümüzde, olası hataların daha ürün tasarım aşamasında iken belirlenmesi ve yaratacağı risklerin ortadan kaldırılması, dolayısı ile güvenilirliğin artırılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Ürün ve proses güvenilirliğinin artırılmasında yaygın olarak kullanılan birçok metot vardır. Bu metotların ortaya çıkmasının temelinde; yoğun rekabet baskısı, maliyet, zaman ve müşteri odaklılık konusunda artan pazar talepleri, ürün sorumluluğu konusunda yaygınlaşan yasa/yönetmelikler, yeni enformasyon teknolojileri ve küreselleşme yatmaktadır. Ayrıca uluslararası kalite yönetim sistemlerinin de bu metotların kullanılmasını şiddetle önermesi hatta bazı aşamalarda zorunlu hale getirmesi yaygın kullanımın gerekçeleri arasında sayılabilir.

Yeni ürün kavramının ortaya çıkmasından, seri üretim aşamasına kadar geçen süreç içerisinde ürün güvenilirliğinin artırılması gerekmektedir. Söz konusu aşamalarda uygulanacak metotların anlaşılabilir ve kolay uygulanabilir olmasının yanı sıra elde edilen çıktılarının kullanılabilirliği de son derece önemlidir. Bu açılarından çok güçlü olan Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), güvenilirliğin artırılması amacıyla kullanılan metotlar arasında ön plana çıkmaktadır.

Hata Türü ve Etkileri Analizi; bir ürün/prosesin olası hatalarının ve bu hataların etkilerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, olası hatanın oluşma olasılığını azaltacak veya ortadan kaldıracak aksiyonların tanımlanması ve tüm sürecin dokümanite edilmesi için tasarlanan sistematik bir aktiviteler topluluğudur (AIAG, 2001). İyi yapılandırılmış bir güvenilirlik süreci içerisinde kullanılacak en etkin araçlardan birisi olan HTEA; yalnız başına kullanılabileceği gibi, İleri Ürün Kalite Planlaması (Advanced Product Quality Planning-APQP) düzeyindeki kapsamlı süreçlerin bir parçası olarak diğer araçlarla beraber de kullanılabilir.

HTEA; tasarım, üretim ve servisten kaynaklanan hata türleri üzerine odaklanarak yalnızca bilinen değil, olası hataların da risklerini belirleyerek önceliklendirir. Analizin temel amacı; söz konusu risklerin müşteriye ulaşmadan önce ortadan kaldırılması, kabul edilebilir bir düzeye indirilmesi veya ortaya

çıkılmalarını engelleyecek altyapının hazırlanmasıdır. Bu süreç içerisinde, önerilen düzeltici/önleyici aksiyonlar da yönetilmektedir. Ayrıca analizin gelecekteki kullanımları için dokümente edilmiş bir yöntem oluşturularak kurumsal belleğe katkı sağlanır ve aynı zamanda sürekli geliştirme için de birçok olanak yaratılmış olur.

Hata türü ve etkileri analizlerinin türden bağımsız olarak sağladığı ortak yararların özelliği; firma seviyesinde olmaları ve disiplinler üstü bir karakter taşımalarıdır. Sözü edilen yararlar arasında; ürün/ proses/hizmet kalitesi, güvenilirliği ve emniyetinin artırılmasının yanı sıra; firma rekabet yeteneklerinin artırılması, firma imajının desteklenmesi, müşteri tatmininin artırılması, mühendislik ve organizasyon bilgisinin artırılması, geç değişikliklerin ve buna bağlı maliyetlerin azaltılması, yapılan çalışmaların dokümente edilerek; gelecekteki projeler için bir referans bilgi kaynağı oluşturulması sayılabilir.

Aslında tüm bu yararlar incelendiğinde; sistematik olarak HTEA uygulayan firmaların, yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip ürünleri, düşük maliyetler ile en kısa sürede tasarlayarak ve/veya üreterek pazarda ciddi bir rekabet avantajı yaratabileceği görülür. Ayrıca konu analizler, sağladıkları dokümantasyon alt yapısı ile sürekli güncelleştirilebildiğinden, sürekli geliştirme için de organizasyonel bir farkındalık sağlayacaktır.

HTEA'nden somut yararlar elde edilebilmesi için analiz kapsamında önerilen aksiyonların tamamlanması gerekir. Aksi halde analizin yararları çok sınırlı kalacaktır. HTEA bir kez uygulandıktan sonra; ani sonuçlar beklenmemeli ancak uygulamaya devam ederek ekonomik getirilerinin değerlendirilmesi alışkanlığı kazanılmalıdır. Ayrıca analiz süresini kısaltmak ve etkinliğini arttırmak için özel olarak bu amaçla hazırlanmış profesyonel yazılımlardan yararlanılması gerekir.

Global firmalar 25 yılı aşkın bir süredir Hata Türü ve Etkileri Analizi'ni sürekli olarak geliştirmektedir. 2004 yılında 4.1 versiyonu yayınlanan Ford FMEA Handbook içerisinde, analizin daha öncekilerden farklı olarak güvenilirlik bağlantısının da tanımlandığı görülmektedir. Bu tez içerisinde yapılan uygulamada,

yalnızca HTEA uygulaması yapılmamış aynı zamanda güvenilirlik bağlantılarının da kurulmasına çalışılmıştır. Böylelikle; güvenilirlik ve robustluk bağlantıları kurularak çok daha gerçekçi analiz sonuçlarına ulaşılabileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde güvenilirlik ve risk değerlendirme kavramları açıklanmıştır. Öncelikle otomotiv sektöründe güvenilirlik ve güvenilirliğin etkinlik ölçütleri üzerinde durulmuştur. Ardından gürültü faktörleri, bu faktörlerden yola çıkılarak güvenilirlik yaşam ömür eğrisi ve bir ürünün ömrü boyunca ortaya çıkabilecek hataların maliyetlerinden bahsedilerek, bu konuda dünyadan örnekler verilmiştir. Bu bölüm içerisinde risk değerlendirme ve risk yönetimi proses akışları üzerinde durulmuş ve kısaca HTEA dışında risk değerlendirmede yaygın olarak kullanılan metotlardan bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, genel olarak Hata Türü ve Etkileri Analizi Metodu açıklanmıştır. Bu bölüm içerisinde; metodun farklı kaynaklara dayanılarak tanımı yapılmış, tarihçesi, amaçları ve sağladığı ortak yararlar üzerinde durulmuştur. Ayrıca analiz ekibinin profili ve süreç akışından da bahsedilmiştir. Bölümün sonunda, HTEA ile beraber kullanılacak ve analizin daha etkin olarak yürütülmesine yardımcı olacağına inanılan; Kalite Fonksiyon Göçerimi, Eş Zamanlı Mühendislik, Kıyaslama ve Tasarımın Gözden Geçirilmesi metotları kısaca açıklanmıştır.

Tezin üçüncü bölümü, HTEA türleri içerisinde ön plana çıkan iki tür olan Tasarım HTEA ve Proses HTEA'ne ayrılmıştır. Her iki tür için de; öncelikle analiz girdileri belirtilmiş ve ardından analiz süreç akışı detaylandırılmıştır. Son olarak analiz çıktılarının ne olması gerektiği vurgulanarak tür bazında sağlanacak olan yararlar üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde, Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin temel türlerinden birisi olmasına karşın, halen daha ülkemizde Proses HTEA'ne göre çok daha kısıtlı olarak uygulanan Tasarım HTEA'nin, bir otomotiv yan sanayi firmasında uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama sırasında DYADEM firmasının kantitatif risk analizi için özel olarak geliştirdiği FMEA-Pro yazılımı kullanılmıştır.

Tasarım HTEA'nin başlangıcında Sınır Diyagramı, ardından P-Diyagramı hazırlanarak; analizin kapsamı tüm ekip için görselleştirilerek ekibin kapsamdan uzaklaşması engellenmiş ve tasarım girdileri ideal fonksiyonlara dönüştürülürken; ortaya çıkabilecek kontrol ve gürültü faktörleri ile hataların belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca analizin sonunda "Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi (Reliability and Robustness Checklist)" hazırlanarak uygulamanın güvenilirlik ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır. Söz konusu listede anahtar robustluk niteliklerini özetlenerek; beş gürültü faktörü, Tasarım HTEA ve Tasarım Doğrulama Planı ile ilişkilendirilmiştir

Analiz, 4 temel uygulama adımı içerisinde yürütülmüştür. Önerilen aksiyonların tamamlanmasından önce ve sonra Pareto Analizi yapılarak, öncelik verilmesi gereken hata türlerinin hangi ürün fonksiyonu ile ilişkili olduğu belirlenmeye çalışılmış ve aksiyonların tamamlanmasından sonra hesaplanan yeni RÖG değerlerine göre RÖG bazında iyileştirmeler gözlenmiştir.

Beşinci ve son bölümde uygulamanın sonuçları değerlendirilmiş ve Hata Türü ve Etkileri Analizi'nden maksimum yarar sağlanabilmesi için yerine getirilmesi gereken koşullar vurgulanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

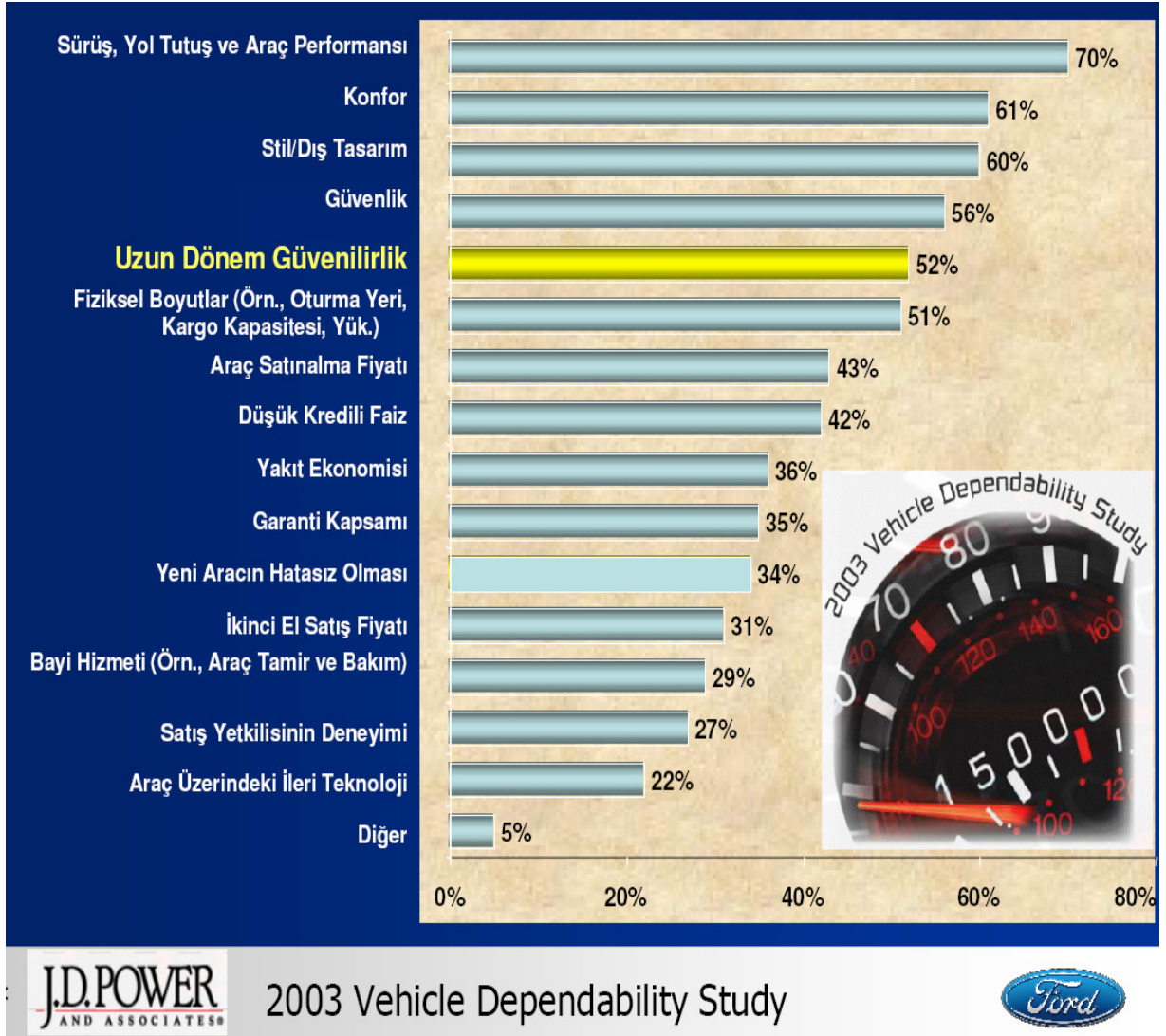
GÜVENİLİRLİK ve RİSK DEĞERLENDİRME

1.1. Güvenilirlik

Güvenilirlik her zaman müşterilerin en üst düzeydeki ilgi odaklarından birisi olmuştur. Otomotiv sektöründeki ürün satınalma kararları içerisinde ise, bu kavramın ağırlığı giderek artmaktadır. Dünyanın en saygın bağımsız araştırma kuruluşlarından birisi olan JD Power tarafından, 2003 yılı içerisinde yapılan “Otomotiv Sektöründe Satınalma Kararlarını En Çok Etkileyen Nedenler” konulu araştırma sonuçlarına göre; “Uzun Dönem Güvenilirlik” %52’lik bir oran ile güvenliğin hemen arkasından 4. sırada gelmektedir. Sözü edilen araştırmanın sonuçlarını gösteren özet tablo Şekil1.1’de verilmiştir.

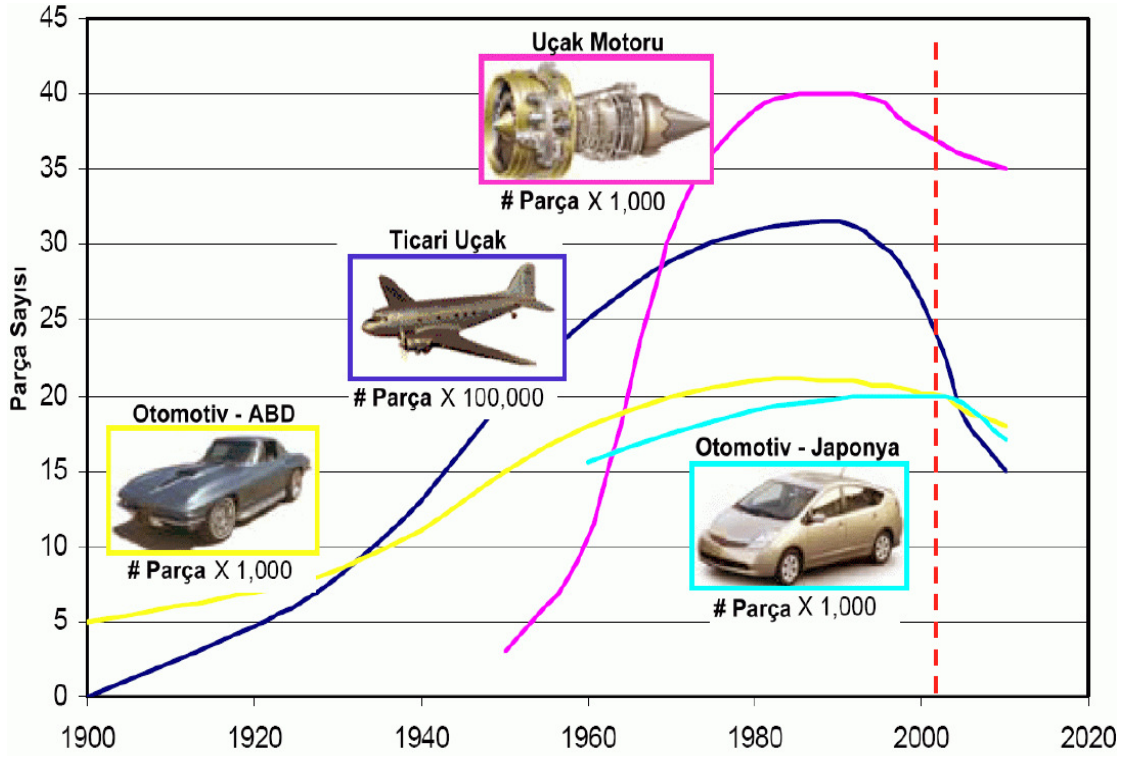
Müşteriler, kullandıkları ürünün yaşam süresinin uzun ve aynı zamanda sorunsuz olmasını isterler. Ürünler karmaşık hale geldikçe geleneksel metotlar kullanılarak düşük hata oranı elde edebilmek giderek zorlaşmaktadır. Teknolojik gelişmelerin yanı sıra; toplumsal, sosyo-kültürel ve ekonomik gelişmelere paralel olarak ürünlerin karmaşıklığı giderek artmaktadır. Şekil 1.2’den ürün karmaşıklığının tarihsel gelişimi görülebilir.

Günümüzde, olası hataların daha ürün tasarım aşamasında sistematik olarak belirlenmesi ve yaratacağı risklerin ortadan kaldırılması, dolayısı ile güvenilirliğin artırılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Yeni ürün kavramının ortaya çıkmasından, seri üretim aşamasına kadar geçen süreç içerisinde ürün güvenilirliğinin artırılması gerekmektedir. Söz konusu aşamalarda uygulanacak metotların anlaşılabilir, kolay uygulanabilir olmasının yanı sıra elde edilen çıktılarının kullanılabilirliği de son derece önemlidir. Bu açılardan çok güçlü olan Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), güvenilirliğin artırılması amacıyla kullanılan metotlar arasında ön plana çıkmaktadır.



Şekil 1.1: Satılma Kararlarını Etkileyen Nedenler Araştırması – J.D. Power Otomotiv 2003

(Kaynak: Feynman, 2004; 13)



Şekil 1.2: Ürün Karmaşıklığının Tarihsel Gelişimi

(Kaynak: Cheldelin ve Ishii, 2004; 2)

Güvenilirlik kavramının sektörden bağımsız bir karakteri vardır. Firmanın pazara sunduğu ürün ne olursa olsun, güvenilirlik bu ürünün başarısında anahtar rol oynar. Bu nedenle sözkonusu kavram firmaların kurumsal amaçları üzerinde aşağıda belirtilen ciddi etkilere sahiptir.

1. Firma imajının artırılması
2. Müşteri talep ve beklentilerinin karşılanması
3. Garanti maliyetlerinin azaltılması
4. Ürün güvenliği ile ilişkili yasa ve yönetmeliklere uyum
5. Gelecekteki potansiyel iş olanaklarının artırılması

Güvenilirliğe, kalitatif ve kantitatif açılardan yaklaşılabilir. Kalitatif açıdan güvenilirlik, işlevsel hatalardan bağımsız olma durumudur. Kantitatif açıdan güvenilirlik ise birçok kaynakta (Greene ve Bourne, 1972; 25, Lewis, 1995; 1, Meeker ve Escobar, 1998; 2, Modarres ve diğerleri, 1999; 14) olasılık terimleri ile aşağıdakine benzer şekilde tanımlanmaktadır:

Güvenilirlik, bir sistemin belirlenmiş bir süre içerisinde ve yine belirlenmiş bir grup çalışma koşulu altında kendisinden beklenen fonksiyonu, hata yapmadan yerine getirme olasılığıdır.

1.1.1. Otomotiv Sektöründe Güvenilirlik

Otomotiv sektöründe bazı nedenlerle yukarıda bahsedilen tanımlamalar tatmin edici olmamaktadır. Bu nedenler;

1. Uzay ve havacılık sektörlerinden farklı olarak otomotiv sektöründeki uygulamaların sahadaki izlenebilirliğinin çoğu zaman oldukça zor olması
2. Zamanın her koşul altında güvenilirlik için uygun bir ömür değişkeni olmaması, bunun yerine araçların yaptıkları yolun daha uygun bir değişken olarak ortaya çıkması
3. Çoğu zaman birçok araç için yapılan kilometre değerlerinin bilinmemesi
4. En önemlisi ise; araçların çok fazla sayıda tanımlanamayan ve bu nedenle bilinmeyen koşullar altında çalışması ve bu durumun tamamen üreticinin kontrolü dışında olmasıdır.

Bu yüzden, otomotiv sektöründe mühendislik aksiyonlarını yönlendirmesi açısından güvenilirlik için daha yararlı bir tanım Clausing'e göre şu şekilde yapılabilir; "Güvenilirlik, hata türünden kaçınmaktır (Clausing, 1994; 1)".

Hata türlerinin nedenleri, yanlışlıklar veya robustluk konusundaki eksikliklerden kaynaklanabilir. İnsan kaynaklı olanlardan, üretim aşamasındaki uygulama hatalarına kadar çok geniş bir yelpaze dilimi içerisinde yer alabilen hatalar, organizasyon içerisindeki bilginin etkin paylaşımı ile engellenebilir. Bunlardan farklı olarak robustluk eksikliğinden kaynaklanan hatalar ise; ürün tasarımının üretim, çalışma koşulları ve çevreye bağlı değişkenlik kaynaklarına karşı duyarlılığının sonucudur. Bu tip hatalar ürün ve proses tasarım aşamalarında, HTEA gibi ileri metotların kullanılması ile önlenir veya yaratacağı riskler azaltılabilir.

Otomotiv sektörü, göreceli olarak ürün karmaşıklığının en yüksek olduğu sektörlerden birisidir. Ürün karmaşıklığı ile üretim hacmi arasındaki ilişki de düşünüldüğünde, otomotiv sektöründe güvenilirlik analizlerinin yaygın olarak kullanılması kaçınılmazdır. Bazı temel sektörler arasında ürün karmaşıklığının karşılaştırılması ve bunun üretim hacimleri ile ilişkisi Şekil 1.3'te verilmektedir.



Şekil 1.3: Bazı Temel Sektörler Arasında Ürün Karmaşıklığı Karşılaştırması

(Kaynak: Cheldelin ve Ishii, 2004; 4)

Otomotiv sektöründe saha verilerinin daha önce bahsedilen bazı nedenler ile sağlıklı olarak elde edilememesine karşın; ürün garanti verileri ve müşteri anket sonuçları, hangi güvenilirlik problemlerinin öncelikli olarak değerlendirilmesi gerektiği konusunda yön verebilir. Ürün garanti verileri; hem maliyet hem de tamir sıklığı açısından garanti periyodu içerisindeki tüm araçlar için kayıtlıdır. Garanti kapsamı, sürenin dışında aynı zamanda belirli bir kilometre değeri ile de sınırlandırılmaktadır. Müşteri anketleri ise, özellikle garanti periyodu içerisinde görülemeyen hataların belirlenebilmesi açısından önemlidir. Bu tip anketlerde, araç sahipleri ile belirli aralıklarda kontakt kurularak geri besleme sağlanır. Son yıllarda bu tip anketler, özellikle internet üzerindeki sohbet odaları ve forumlar aracılığı ile de desteklenmektedir. Hem ürün garanti verileri, hem de müşteri anketlerinin sonuçları sahadan toplanması gereken bilgileri sağlayarak bu bilgilerin güvenilirlik problemlerinin çözümünde kullanılması için gereken alt yapıyı hazırlar.

Sektörlere bağlı olarak güvenilirlik ölçütleri benzerlik gösterebilecekleri gibi, ayrıldıkları noktalar da vardır. Bazı temel sektörler için ölçüt bazında karşılaştırma Tablo 1.1’de verilmektedir.

1.1.2. Güvenilirliğin Etkinlik Ölçütleri

Güvenilirliğin değerlendirilmesi için kullanılan bazı temel ölçütler vardır. Çoğu zaman bu ölçütler referans noktası olarak değerlendirilir ve geliştirmelerin yapıp yapılamadığının belirlenmesine yardımcı olur. Sözü edilen temel ölçütler arasında en yaygın olarak kullanılanlarından aşağıda kısaca bahsedilmektedir;

1. Hazır olabilirlik: Bu ölçüt özellikle bakımı yapılabilen sistemler için geçerlidir. Hazır olabilirliğin belirlenebilmesi, bakım yapmak için gereken zamanın bilinmesine bağlıdır. Söz konusu ölçüt, olasılık terimleri ile tanımlandığı için; 0 ile 1 arasında değer alır.

Tablo 1.1: Farklı Sektörlerdeki Güvenilirlik Ölçütlerinin Karşılaştırılması

Güvenilirlik Ölçütü	Sektör			
	Nükleer Enerji	Havacılık	Otomotiv	Medikal
Sahadaki Ürün Sayısı	00'lar	000'lar	00000000'lar	00000000'lar
Saha Kayıtlarının Kalitesi				
Hatalı Ürün	Mükemmel	Mükemmel	Düşük	İyi
Hatalı Olmayan Ürün	Mükemmel	Mükemmel	Yok	Yok
İzlenebilirliği Kaybolan Ürün	Hayır	Hayır	Evet	Sıklıkla
Bilimsel Kontekst	Tümdengelim	Tümdengelim	Tümevarım	Tümevarım
Anahtar Güvenilirlik Ölçütü	Hata Olasılığı	Hata Olasılığı	Hata Türlerine Olan Uzaklık	Felaketin Göreceli Riski
Tasarım Geliştirme	Evet	Evet	Evet	Hayır

(Kaynak: Krivtsov ve Davis, 2005; 10)

Kendi içerisinde üç gruba ayrılabilir; 1. Herhangi bir zamanda hazır olabilirlik, 2. Ortalama çalışır durumda hazır olabilirlik ve 3. Dengeli hazır olabilirlik. Bu ölçütler, sistemin görevlerine ve arızalanma koşullarına bağlı olarak kullanılırlar. Herhangi rasgele bir zamanda kullanılan sistemler için herhangi bir zamanda hazır olabilirlik ölçütü, belirli süreler içerisinde çalışan sistemler için ortalama çalışır durumda hazır olabilirlik ölçütü ve sürekli olarak çalışan sistemler için de dengeli hazır olabilirlik ölçütü kullanılır.

2. Bozuluncaya kadar geçen ortalama zaman (Mean Time Between Failure-MTBF): Bu ölçüt bakımı yapılamayan sistemler için geçerlidir. Sistemi oluşturan gereçlerin hepsinin çalışamaz duruma gelinceye kadar, sistemin çalışır durumda olması için beklenen zamanı tanımlar.

3. Onarıncaya kadar geçen ortalama zaman (Mean Time To Repair-MTTR): Bu ölçüt bakımı yapılabilen sistemler için geçerlidir. Sistemin gereçleri arasında birisinin ilk kez bozulmasına kadar geçen ortalama zamanı tanımlar.

4. İşlerlik olasılığı: Bu ölçüt bakımın her zaman yapılamayacağı ancak belirli zaman dilimlerinde yapılabileceği sistemler için geçerlidir. Başlangıçta çalışır durumda olan bir sistemin belli bir zaman aralığında bozulmama olasılığı olarak tanımlanabilir.

5. Hata oranı: Belirlenen bir zaman aralığı içerisinde, hata ortaya çıkma olasılığının oranı veya hataların sayısı olarak tanımlanabilir. Hata oranı genellikle; milyonda bir (ppm) olarak belirtilir.

1.1.3. Gürültü Faktörleri

Hata türü; ürünün ideal fonksiyonundan müşterinin fark ettiği herhangi bir sapma olarak tanımlanabilir. İki temel tip hata türü vardır; sert hatalar ve yumuşak hatalar. Sert hatalar ürün fonksiyonunun tamamen yitirilmesidir. Yumuşak hatalar ise; müşterinin fark edebileceği ve üreticiye şikayet edebileceği performans kayıpları olarak düşünülebilir. Gürültü faktörleri; ürün fonksiyonunu etkileyerek sert ve yumuşak hataların oluşumuna önderlik eden değişkenlik kaynaklarıdır.

Otomotiv sektöründe gürültü faktörleri 3 temel başlık altında 5 gruba ayrılabilir.

1. Donanım ile ilgili değişkenlikler

Gürültü Faktörü 1 – (G1) : Parçadan parçaya değişkenlik

Gürültü Faktörü 2 – (G2) : Zamana bağlı değişkenlikler

2. Kullanım koşulları ile ilişkili değişkenlikler

Gürültü Faktörü 3 – (G3) : Müşteri kullanımı ve çalışma çevrimi

3. Çevre ile ilişkili değişkenlikler

Gürültü Faktörü 4 – (G4) : Dış çevre

Gürültü Faktörü 5 – (G5) : İç çevre

Söz konusu faktörlerden G1 ve G2; iç gürültü faktörleri, G3,G4 ve G5 ise dış gürültü faktörleri olarak da adlandırılmaktadır. Bir genelleme yapılacak olursa, G1 grubu; üretim hızı, G2 grubu; tasarımın zaman etkisine karşı duyarlı bırakılması, G3 grubu; kullanım koşulları, G4 grubu; iklim ve yol koşulları ve G5 grubu gürültü faktörlerinin ise; komşu sistem ve detay parça etkileşimlerinden kaynaklandığı söylenebilir. G3, G4 ve G5 gruplarında yer alan gürültü faktörleri G2 grubundaki gürültü faktörlerine neden olabilir. Eğer ürün, G2 kategorisindeki gürültü faktörlerine karşı daha robust olarak ortaya çıkarılabilirse; daha güvenilir olacaktır.

Gürültü faktörlerinin öncelikle tanımlanması gerekir. Ardından bu faktörlerin yönetilmesi aşamasına geçilmelidir. Yönetim aşamasındaki stratejilerden birisi tasarım kapasitesinin artırılması olabilir. Bu durumda tasarım güçlendirilmeli veya tasarımı gürültü faktörlerine karşı daha az duyarlı hale getirecek bir tasarım parametresi konfigürasyonu bulunmalıdır. Bir diğer strateji ise; gürültü faktörünün ortadan kaldırılması veya sistem yapısı içerisinde kompanse edilmesidir. Otomotiv sektöründe, özellikle; ürün tasarımlarının gürültü faktörlerine karşı daha az duyarlı hale getirilmesi üzerine kurulu olan yönetim stratejileri ön plana çıkmaktadır. Bunun temel nedeni ise; G3 grubuna giren müşteri kullanımı ve çalışma çevrimi ile ilişkili gürültü faktörlerinin, bu sektör için kontrol edilmesi ve ortadan kaldırılmasının pek mümkün olmamasıdır.

Gürültü faktörlerinin canlandırılması için sanal ve fiziksel testler gerçekleştirilmelidir. Laboratuvar ortamında ve/veya araç üzerinde yapılacak olan fiziksel testlerde, istatistiksel olarak anlamlı bir örnekleme hacminin seçilmesi test sonuçlarının güvenilirliği açısından önemlidir.

Gürültü faktörlerinin yönetiminde, Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi (Reliability and Robustness Checklist – RRCL) bir yönetim aracı olarak kullanılabilir. Bu konuya Üçüncü Bölüm’de detaylı olarak değinilecektir.

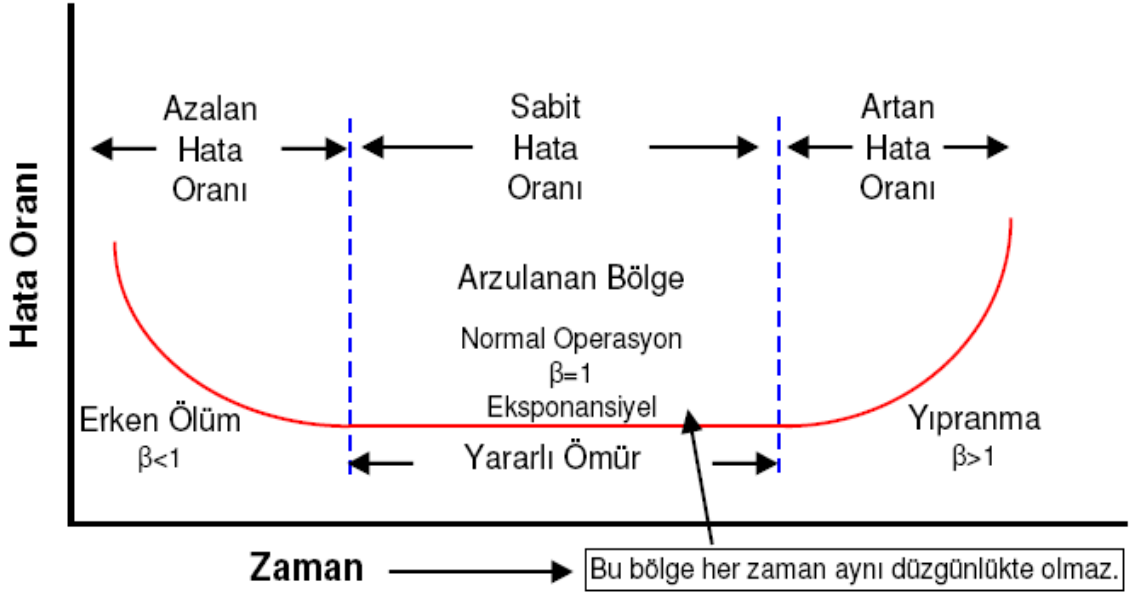
1.1.4. Güvenilirlik Yaşam Ömrü Eğrisi

Karmaşık sistemlerde, hata oranlarının zamana göre değişimi benzer bir dağılım gösterir. Bu dağılım “Güvenilirlik Yaşam Ömrü Eğrisi” veya şekil itibarı ile bir banyo küvetini çağrıştırdığı için “Banyo Küveti Eğrisi” olarak adlandırılır. Söz konusu eğri; ürünün beklenen ömür süresi boyunca geçen zamanın, hata oranları ile ilişkilendirilmesi sonucunda elde edilir. Tipik bir Güvenilirlik Yaşam Ömrü Eğrisi, Şekil 1.4’te verilmektedir. Ürünün ömrü boyunca hata oranlarının değişimi, eğri üzerinde 3 belirgin bölge yaratmaktadır. Bu bölgeler;

1. Erken Ölüm Dönemi
2. Yararlı Ömür Dönemi
3. Yıpranma Dönemi olarak adlandırılır.

Her bir bölgenin uzunluğu büyük değişkenlikler gösterebilir. İdeal olan; erken ölüm döneminin olabildiğince kısa iken, yararlı ömür döneminin olabildiğince uzun tutulmasıdır.

Erken Ölüm Dönemi: Ürün ömrünün ilk başlarında yaşanan hatalar; erken ölüm hataları olarak adlandırılır. Kesinlikle istenmeyen bir durumdur. Genel bir kural olarak, G1 grubuna giren gürültü faktörlerinin bu tip hatalara neden olduğu söylenebilir. Nedenler arasında; hatalı tasarım, yetersiz doğrulama testleri, yetersiz ürün ve proses kontrolü, üretim ve montaj aşamasında yaşanan olumsuzluklar sayılabilir. Bu dönem içerisinde hataların hızla azaldığı görülür.



Şekil 1.4: Güvenilirlik Yaşam Ömrü Eğrisi

Bu hataların firmaya maliyeti çok yüksektir. Özellikle ürünün garanti maliyetlerini arttıracaklardır. Ayrıca bazı durumlarda araçların geri çağırılması gibi sonuçlar doğurabilirler ki; bu durumda firma imajı sarsılacak ve kullanıcı gözünde ciddi bir güven kaybı yaşanacaktır. Bu dönemde; özellikle tasarımın doğrulanması ve geçerli kılınması için yapılan sanal ve fiziksel testlerin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Hata oranları Weibull Dağılımı'nı izler.

Yararlı Ömür Dönemi: Bu dönem içerisinde hata oranı en düşük düzeye ulaşır. Dönemin sonlarına doğru hata oranında bir artış gözlenir. Garanti maliyetlerinin düşük tutulabilmesi için Yararlı Ömür Dönemi içerisindeki hatalar olabildiğince az olmalıdır. Özellikle zamana bağlı olan gürültü faktörleri bu dönemdeki hataların temel nedenini oluşturur. Bu dönem içerisinde ortaya çıkan hatalar, genellikle ürünün ömrü boyunca çeşitli aralıklar ile ortaya çıkan hatalardır.

Yıpranma Dönemi: Bu dönemde hata oranları hızla artar. Özellikle zaman içerisinde ürünün yaşlanması sonucunda oluşan hata türleri ile karşılaşılır. Yıpranma Dönemi içerisindeki hata oranları Normal Dağılımı izler. Bu dönem içerisinde ortaya çıkan hatalar, ilk iki dönemdeki hatalara oranla kaçınılmaz bir karakter gösterir. Özellikle servislerde ürünün değiştirilmesi ve bakım politikaları açısından bu tip hataların izlenmesi gereklidir.

Ürünler için izlenen güvenilirlik programlarının her üç dönemi de göz önüne alınması beklenir. Bu dönemlerin göreceli olarak önemi, direkt olarak yatay eksendeki zaman periyodunun büyüklüğü ile ilişkilidir. Güvenilirlik analizinde izlenen adımlar; ürünün modellenmesi, verilerin toplanması, ilgili dağılımın elde edilmesi ve hesaplamaların yapılması şeklindedir. Hata olasılığı, zaman değişkenine bağlı olarak incelendiğinde aşağıdaki şekilde tanımlanabilir;

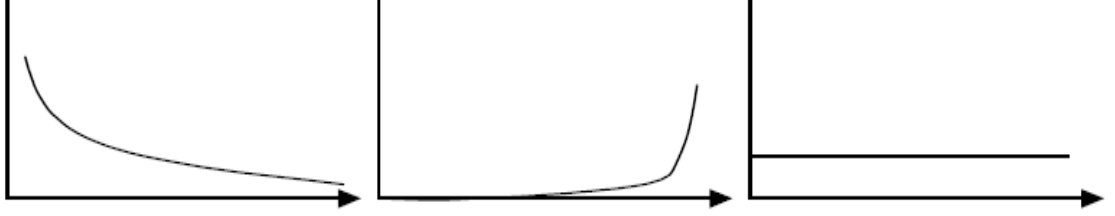
$$P(T \leq t) = F(t) ; t \geq 0$$

Burada $F(t)$, belirli bir t zamanı içerisinde, ürünün hata vermesi olasılığıdır. Güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$ ise; belirli bir t zamanı içerisinde ürünün fonksiyonunu hatasız olarak yerine getirme olasılığıdır. Bu nedenle aşağıdaki şekilde tanımlanabilir;

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t)$$

Gürültü faktörleri ile Güvenilirlik Yaşam Ömrü Eğrisi arasındaki ilişki Şekil 1.5'te verilmiştir. Genel bir kural olarak, G1; azalan bir hata oranına, G2; zaman içerisindeki değişiklikler sonucunda artan bir hata oranına, G3,G4 ve G5 ise sabit bir hata oranına katkıda bulunur. Sözü edilen gürültü faktörlerine ait eğriler; x eksenini zaman değişkenini ve y eksenini hata oranını canlandıracak şekilde oluşturulduğunda gürültü faktörlerinin azalan, artan ve sabit kalan bölümleri göz önünde bulundurularak tipik bir Güvenilirlik Yaşam Eğrisi yaratılabilir.

G1 (Azalan Hata Oranı) + G2 (Artan Hata Oranı) + G3,G4,G5 (Sabit Hata Oranı)



=

G1,G2,G3,G4,G5

Güvenilirlik Yaşam Eğrisi



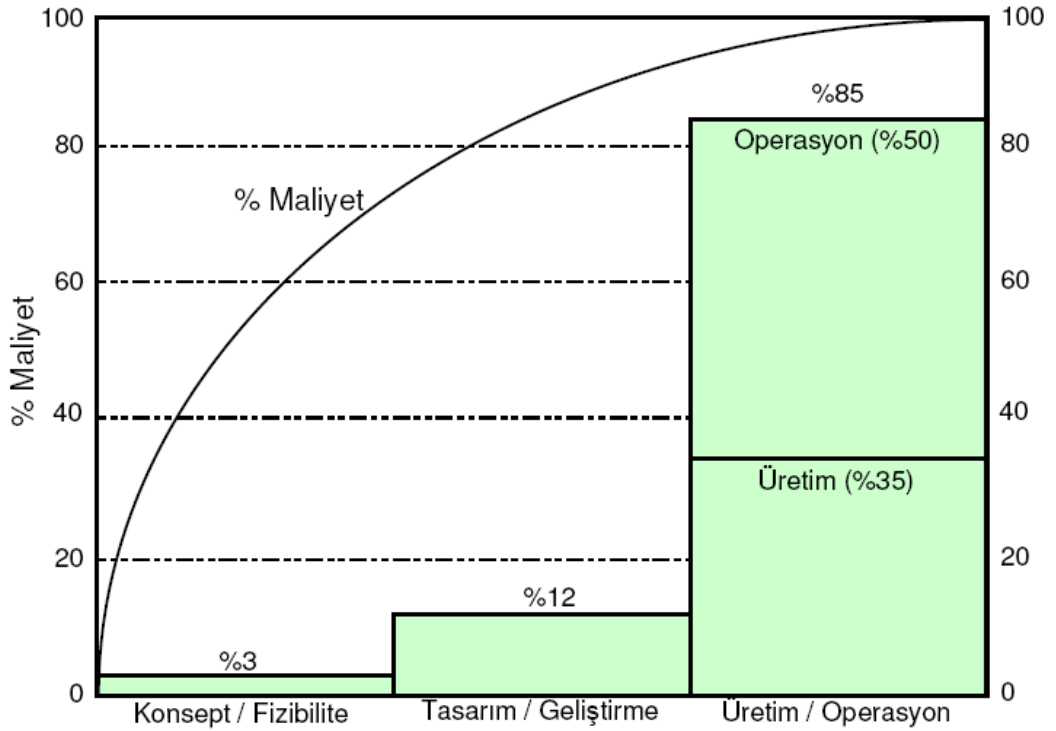
Şekil 1.5: Güvenilirlik Yaşam Ömrü ile Gürültü Faktörleri Arasındaki İlişki

(Kaynak: Davis, 2000; 21)

1.1.5. Ürün Ömrü Boyunca Oluşabilecek Hataların Maliyeti

Bir ürünün tasarımı, potansiyel üretim hatalarının doğasını ve aynı zamanda sayısını etkiler. Çünkü tasarım; ürünün malzemesini, boyutlarını ve üretim/montaj proseslerini dikte eder. Tüm bunlar beraberce sahadaki hatalara önderlik ederler. Üretim

ve montaj prosesleri sırasında ortaya çıkan hatalar göreceli olarak oldukça maliyetli hatalardır. Bu nedenle konsept tasarım aşamasında iken Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin etkin olarak kullanımı, hataların düzeltilebilmesi veya kompanse edilebilmesi açısından önem kazanmaktadır. Ömür çevrim fazları ve yüzde maliyetler arasındaki ilişki Şekil 1.6'dan görülebilir.



Şekil 1.6: Ömür Çevrim Fazları ile Yüzde Maliyetler Arasındaki İlişki

(Kaynak: Rausand, 2004; Bölüm3, Sayfa 7)

Otomotiv yan sanayi firmaları ile ilgili olarak 2003 yılında yapılan bir araştırmada; müşterinin (araç üreticisi firma) değişik birimlerinde hatanın keşfedilmesi durumunda 10'un katları olarak öngörülen birim maliyetler aşağıdaki gibidir (Chao ve Ishii, 2004; 4);

- Müşteri firmanın Giriş Kontrol Bölümü'nde; 10 Amerikan Doları
- Müşteri firmanın Montaj Hattı'nda; 100 Amerikan Doları
- Müşteri firmanın Son Kontrol Bölümü'nde; 1000 Amerikan Doları
- Müşteri firmanın Yetkili Servisi'nde; 10000 Amerikan Doları

Tasarım hataları ve bu hataların kayıtlara giren ölçülebilir maliyetleri açısından otomotiv sektöründen çok çarpıcı iki örnek verilebilir. Bunlardan birincisi Ford Pinto diğeri de, Ford Explorer (Firestone lastikleri) araçları ile ilgilidir. 1970'li yıllara ait Pinto örneğinde 1.5 milyon araç geri çağırılmış ve yasal olarak 128 milyon Amerikan Doları tazminat ödenmiştir. Hata yüzünden kayıtlara geçen ölü sayısı 500'ün üzerindedir. 1991 ve 2000 yılları arasında otomotiv sektörünün gündeminde yer alan Ford Explorer örneğinde ise 6.5 milyon araç lastiği geri çağırılmıştır. Ödenen toplam tazminat 49 milyon Amerikan Doları iken, ölü sayısının 203'ün üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Chao ve Ishii, 2003; 5).

Pinto örneğinde; sonradan yapılan analizler, Ford firmasının hatayı önleyebilecek ve araç başına maliyeti 11 Amerikan Doları olan bir üniteyi eklemekten kaçınması sonucunda; her bir ölüm için 200.000 Amerikan Doları, her bir yaralı için 67.000 Amerikan Doları ve her bir servis tamirâtı için de 700 Amerikan Doları ödemek zorunda kaldığını göstermiştir (Chao ve Ishii, 2004; 5).

Bir başka çarpıcı bir örnek de uzay sektöründen verilebilir. NASA'nın Mars gezegenine göndermek üzere tasarladığı uzay aracı 2000 yılı Eylül ayı içerisinde roketlerin ateşlenmesinden sonra kaybolmuştur. Yapılan araştırmalar, NASA mühendislerinin "pound of force" olarak tanımlanan İngiliz ölçü birimini metrik sisteme çevirirken hata yaptığını göstermiştir. Bir İngiliz pound of force; 4.45 Newton'a eşittir. Bu basit gibi görünen birim dönüşüm hatası; uzay aracının Mars gezegenine çok düşük bir açı ile yaklaşmasına neden olmuş ve tahminlere göre araç, gezegenin atmosferine çarparak parçalanmıştır (Chao, Beiter ve Ishii, 2001; 1). Bu hatanın maliyeti; devreye

alma ve çalıştırmak için 134.5 milyon Amerikan Doları, uzay aracının kendisi için de 125 milyon Amerikan Doları' olarak açıklanmıştır.

Bu örnekler, basit hataların maddi ve manevi çok büyük kayıplara neden olabileceğini göstermektedir. Böylesine felaketlere yol açan hataların önlenmesi için gerekli olan aksiyonlar aslında kayıpların çok küçük bir bölümüne mal olmaktadır. Bu nedenle daha ürün tasarım aşamasında iken, Hata Türü ve Etkileri Analiz gibi yapısal metodların kullanılması, olası hataların önceden öngörülerek giderilmesinde büyük önem kazanmaktadır.

1.2. Risk Değerlendirme

Risk analizi veya başka bir deyişle risk değerlendirme farklı kaynaklarda farklı şekillerde tanımlanmaktadır. IEC 60300-3-9 içerisinde risk değerlendirme; tehlikenin tanımlanması ve bireylere, topluma, mülke ve çevreye olabilecek riskinin öngörülmesi için mevcut verilerin sistematik olarak kullanılmasıdır. Başka bir kaynak olan NS 5814 ise risk değerlendirmeyi, riskin tanımlanması ve/veya hesaplanabilmesi için sistematik bir yaklaşım olarak tanımlar. Yine bu kaynağa göre risk analizi, istenmeyen olayların ve bu olayların nedenlerinin ve sonuçlarının tanımlanması ile ilişkilidir. Risk değerlendirmenin genel amacı; kayıpların minimize edilmesi için yapısal bir yaklaşım içerisinde risklerin açıkça adreslenmesidir (Bernstein, 1996).

Ürün tasarımı açısından ise risk değerlendirme; ürün niteliklerinin etrafındaki belirsizliklerin (hedef süre, yaşam ömrü maliyetleri, performans) ve proses nitelikleri etrafındaki belirsizliklerin (zaman planına uyum, bütçe, kalite) azaltılması ve yönetilmesini içerir. Sözü edilen aksiyonlar aşağıdaki maddelere önderlik eder;

- Kriz önleme
- İleri geliştirme aşamalarındaki beklenmedik problemlerin azaltılması
- Bilinen problemler ile tekrar karşılaşılmasının engellenmesi

- Kök nedenin belirlenmesi
- Organizasyonel  ğrenme kavramının pekiştirilmesi
- Çapraz fonksiyonlu bütünleşme

1.2.1. Risk Değerlendirme ve Risk Yönetimi Proses Akışı

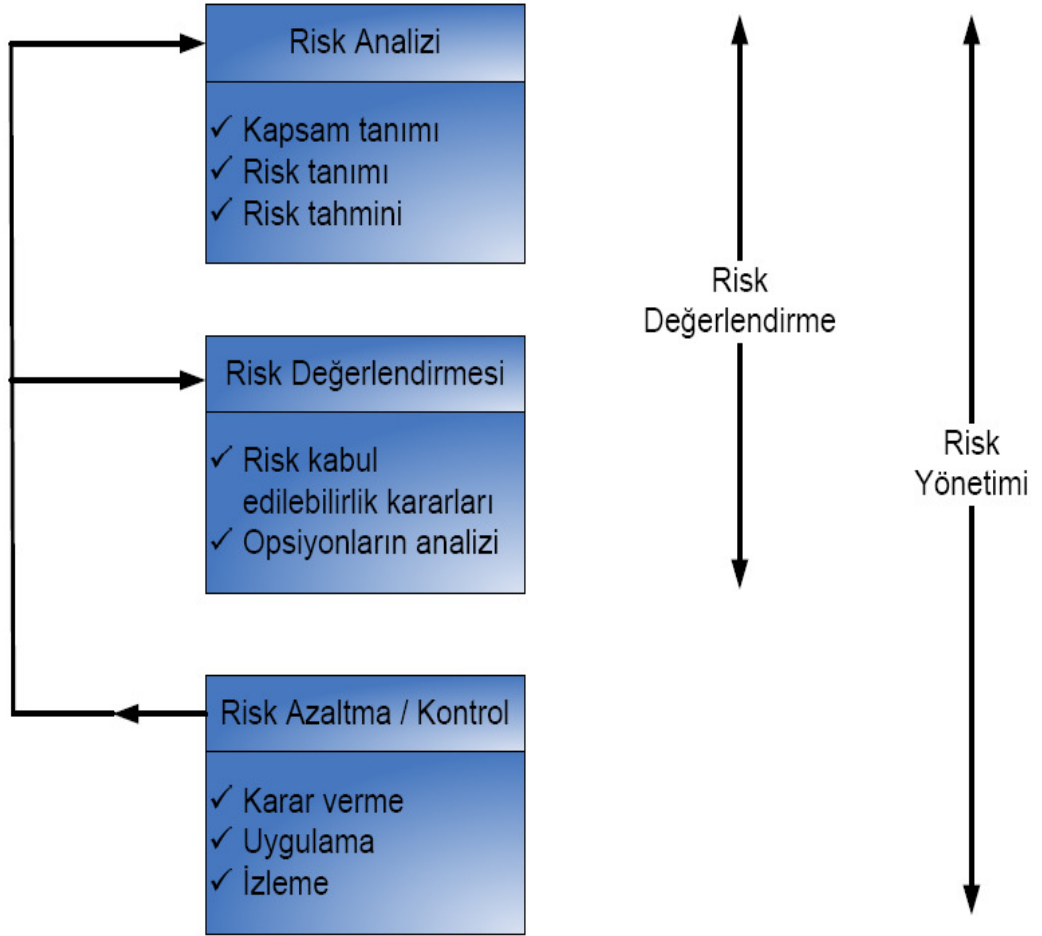
Riskin şiddeti sayısal olarak, ortaya çıkma olasılığı ve yaratacağı olumsuz etkinin çarpımı ile tanımlanabilir. Risk yönetiminin ilk geniş çaplı uygulaması olarak, 17. yüzyılda İngiliz H k meti'nin yaşam sigortası yapmaya başlaması verilebilir. 1970'li yıllarda bu kavram diğer sektörler içerisinde de tanınmaya başlamıştır. Bu sektörlerde de risk değerlendirme, sigortacılık sektöründe olduğu gibi, felakete yol açabilecek risklerin ve olası kayıpların tanımlanarak önlenmesi temeline dayanmaktadır. Günümüzde, modern risk yönetimi yaklaşımı firmalar için önemli varlıkların korunması ve uzun vadeli başarının sağlanabilmesi anlamında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Risk yönetimi ise risk değerlendirmenin bir adım ilerisine giderek risk azaltma ve kontrol ile ilişkili aksiyonları da içerir. Temel aksiyon grupları olarak risk değerlendirme ve risk yönetimi karşılaştırması Şekil 1.7'de yapılmıştır.

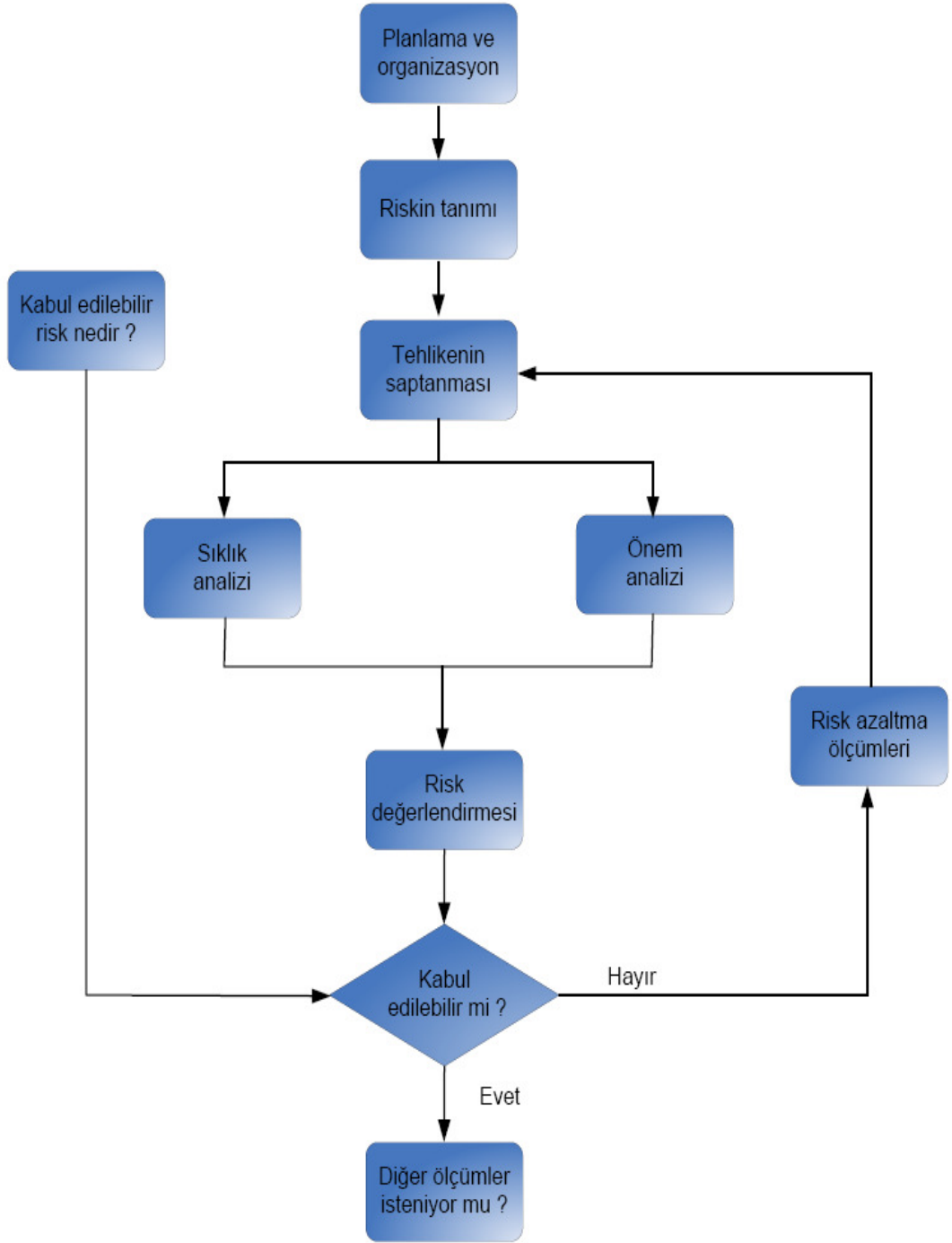
Risk değerlendirme i proses akışı Şekil 1.8, risk yönetimi i proses akışı da Şekil 1.9 içerisinde detaylandırılmaktadır.

İ evrim ya da başka bir deyişle temel risk yönetimi; riskin tanımlanmasını, kalitatif değerlendirmeyi, kantitatif değerlendirmeyi, risklerin önceliklendirilmesini, aksiyonların tanımlanmasını ve gerçekleştirilmesini içerir. Dış evrim, i çevrim ile paralel giden daha ileri bir risk yönetim elemanı olan izleme adımını bu çevrime eklerken, uyum çevrimi de diğer risk yönetim prosesleri ile aradaki ilişkiyi kurarak risklerin yığılması adımını ekler. Risk yönetim prosesi; sürekli olarak devam eden ve kendini tekrarlayan bir procestir. Bir mantık zinciri içerisinde yürütülür. Prosesin

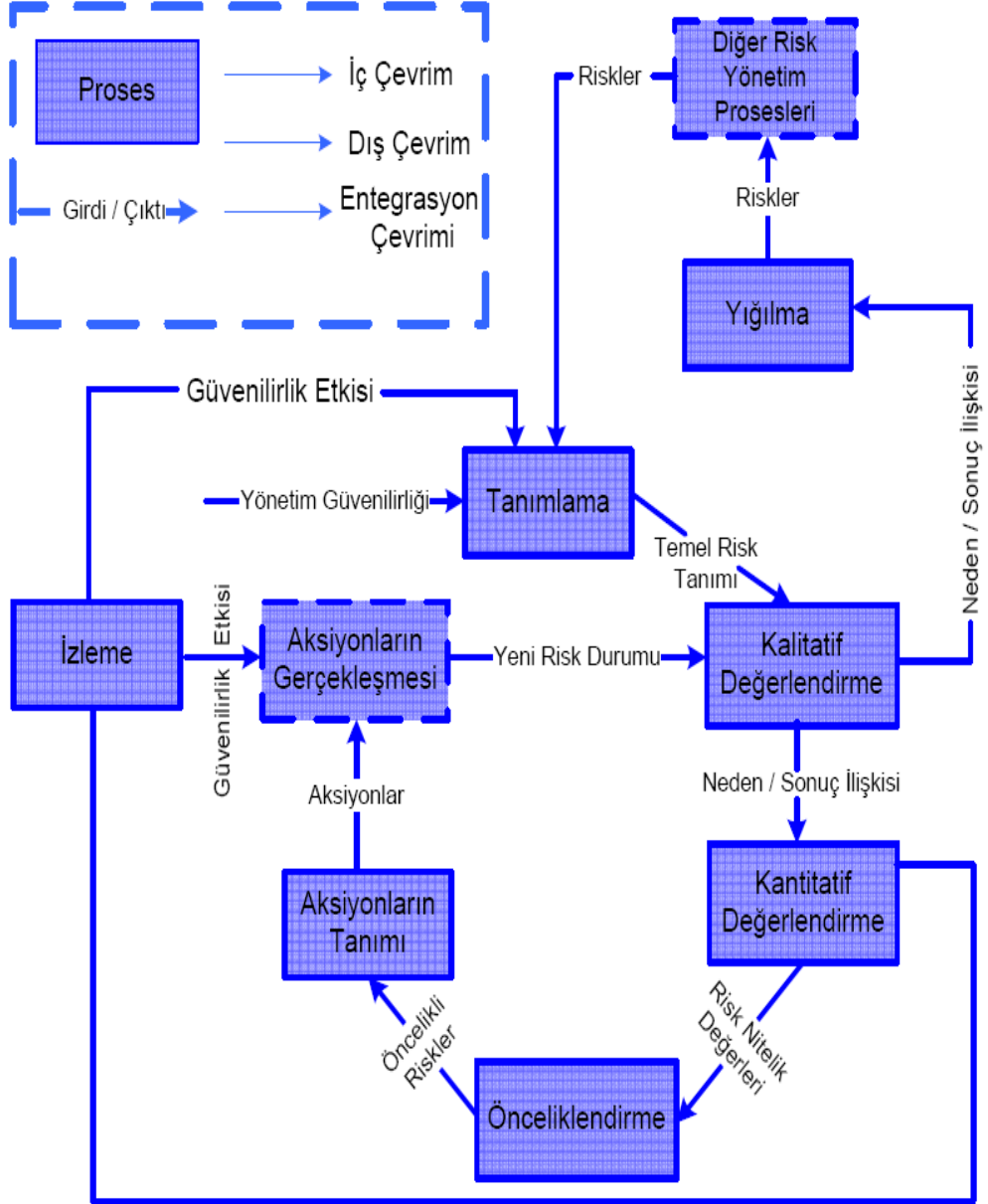
uygulanması; özellikle, risklerin önceliklendirilmesi aşamasında birçok iç tekrarlama içerir.



Şekil 1.7: Risk Değerlendirme ve Risk Yönetimi



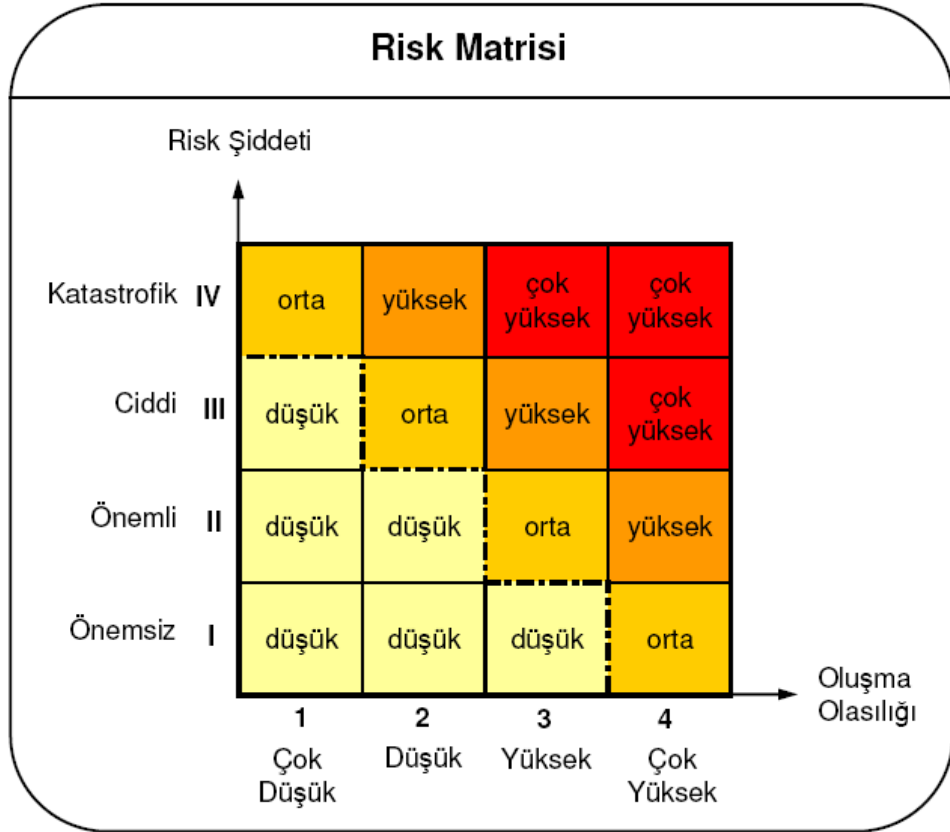
Şekil 1.8: Risk Değerlendirme İç Proses Akışı



Şekil 1.9: Risk Yönetimi İç Proses Akışı

1.2.2. Risk Matrisi

Risk değerlendirme sırasında, olası risklerin şiddeti ile oluşma olasılıkları arasındaki ilişkiye bağlı olarak söz konusu riskler derecelendirilebilir. Risklerin ortaya çıkmasını engelleyecek olan aksiyonların şekillendirilmesi buna göre önceliklendirilmelidir. Burada özellikle amaçlanması gereken; risk değerlendirme üzerine çalışan çapraz fonksiyonlu ekibin çok değerli olan zaman ve emeğini gerçekten öncelikli olan konular üzerine yoğunlaştırabilmesinin sağlanmasıdır. Bu konuda değerlendirmeye yardımcı olması açısından hazırlanmış olan Risk Matrisi, Şekil 1.10'dan görülebilir.



Şekil 1.10: Risk Matrisi

Örneğin bir meteorun dünyaya çarpma riskinin şiddeti katastrofiktir. Ancak bu riskin oluşma olasılığı çok düşüktür. Bu iki kıstasa göre değerlendirme yapıldığında söz konusu riskin aslında matris içerisinde orta risk grubu içerisinde yer aldığı görülebilir. Bazı kaynaklarda; şiddet ve oluşma olasılıklarına bağlı olarak ortaya çıkan bölgeler; 1. Kabul edilemez, 2. Tolere edilebilir ve 3. Kabaca tolere edilebilir olarak üç bölgeye ayrılmaktadır. Birinci bölgeye; sıra dışı durumlar haricinde kabul edilmesi olanaksız olan riskler girer. İkinci bölgede; pratik olarak azaltılması mümkün olmayan veya azaltılması için gereken maliyetin, elde edilecek olan iyileştirmeden çok daha yüksek olacağı riskler bulunur. En son bölge olan üçüncü bölge ise; bu bölgede kalabilmeleri için önlem alınması gereken riskleri kapsar.

1.2.3. Risk Değerlendirmede Kullanılan Metotlar

Risk değerlendirmede kullanılan metotlar; kantitatif ve kalitatif olarak iki temel gruba ayrılabilir. Kantitatif metotlar riski değerlendirirken sayısal yöntemlere başvururken, kalitatif metotlarda risk oluşma olasılığı ve etkisine sayısal değerler verilir ve bu değerler matematiksel/mantıksal yöntemler ile analiz edilerek risk değeri bulunur.

Hata Türü ve Etkileri Analizi dışında, risk değerlendirme metotları arasında aşağıdaki metotlar sayılabilir;

1. Başlangıç Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis-PHA)
2. Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (Hazard and Operability Analysis-HAZOP)
3. Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis-FTA)
4. Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis-ETA)
5. Neden-Sonuç Analizi (Cause-Consequence Analysis)
6. Risk Değerlendirme Karar Matrisi (Risk Assessment Decision Matrix)
7. Markov Analizi
8. İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis-JSA)

9. Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (Hazard Analysis and Critical Control Points-HACCP)

Yukarıda bahsedilen metotlardan en yaygın olarak kullanılan; Başlangıç Tehlike Analizi, Tehlike ve İşletilebilme Analizi ve Hata Ağacı Analizi'nden kısaca bahsedilecektir.

Başlangıç Tehlike Analizi: Bu metotta, kazalara öncülük edebilecek tüm potansiyel tehlike ve tesadüfi olaylar tanımlanır. Bunlar, şiddet derecelerine göre önceliklendirilir. Ardından istenilen tehlike kontrolleri ve takip aksiyonları belirlenir. Bazen; Hızlı Risk Sıralama (Rapid Risk Ranking) ve Tehlike Tanımlama (HAZID) gibi değişik isimler altında bu metodun değişik biçimleri kullanılmaktadır.

Başlangıç Tehlike Analizi;

1. Projenin başlangıç aşamasında bir risk değerlendirme çalışması olarak
2. Mevcut bir sistemin veya sistem konseptinin detaylı risk analizinin bir adımı olarak
3. Basit sayılabilecek bir sistemin komple risk analizi olarak kullanılabilir.

Bu metot; tehlike yaratabilecek detay parçalar, çeşitli sistem elemanları arasındaki güvenlik ile ilişkili arabirimler, çalışma çevresini de içine alan çevresel kısıtlamalar, tesis, ekipman, destek ekipmanları, test, bakım gibi konuları ele almalıdır. Ekip çalışması temeline dayanan bir metot olan Başlangıç Tehlike Analizi'nin 2-6 kişilik bir ekiple yürütülmesi önerilir. Çalışmalar sırasında; öncelikle analizi yapılacak olan sistem tanımlanarak mevcut benzer sistemler üzerinden risk bilgileri toplanır, olası tehlikeler belirlenir ve ardından neden ve sıklık öngörüsü yapılarak riskler sıralanır ve aksiyonlar takip edilir. Tüm bu çalışmalar, standart bir çalışma sayfası üzerinden izlenir.

Başlangıç Tehlike Analizi'nin avantajları arasında; analizi yapılan sistemin güvende olduğundan emin olunmasına yardımcı olması, tasarımın başlangıç aşamalarında daha düşük maliyetli ve uygulaması daha kolay olan değişikliklere öncülük etmesi ve tasarım süresini azaltması sayılabilir. Belli başlı dezavantajları ise; tehlikelerin analizi yapanlar tarafından öngörülme zorunda olması ve bu tehlikeler arasındaki etkileşimlere ait etkilerin kolayca tanımlanamayabilmesi sayılabilir.

Tehlike ve İşletilebilme Analizi: Bu metot, 1970'li yılların başlarında Imperial Chemical Industries Ltd. tarafından geliştirilmiştir. Mevcut veya yeni bir tesise ait proseslerdeki tasarım spesifikasyonlarından sapmaların yaratabileceği tehlikelerin, tesisin tümü üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile kullanılır. Tehlike ve İşletilebilme Analizi, bazı kılavuz sözcükler kullanılarak yürütülür. Söz konusu kılavuz sözcükler yardımı ile tehlike veya operasyonel hataya neden olabilecek senaryolar irdelenir.

Bu metot kimyasal proses sektöründe çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Tehlike ve İşletilebilme Analizi, örneğin; bir kimya tesisindeki boru hatlarının boyu, bu hatlar içerisindeki çok yüksek veya düşük debili akım, akımın yanlış yönde olması, sıcaklığın çok yüksek veya düşük olması, boru hattındaki maddenin yanlış olması gibi konuları inceleyerek "orta-durumları" tanımlar. Her bir orta durumdan aşağıya doğru kılavuz sözcükler yardımı ile gidilerek analiz yürütülür. Burada amaçlanan; sistem, proses veya operasyonlar ile ilişkili bir dizi soru sorarak, düşünsel sınırların zorlanması ve sisteme farklı bir açıdan bakılarak tehlike senaryolarının oluşturulabilmesidir.

Hata Ağacı Analizi: Bu analiz adını, sistemin bozulmasına neden olabilecek hatalara ulaşılmasına kılavuzluk eden ağaç şeklindeki grafik yapısından almaktadır. Hata Ağacı Analizi de, Olay Ağacı Analizi veya Neden-Sonuç Analizi gibi ağaç tabanlı bir analizdir. Orijini, 1962 yılında Bell Telephone Industries tarafından Minutemen Kıtalararası Balistik Füze Kontrol Sistemi'nin güvenlik değerlendirmesinin yapılabilmesi için geliştirilen bir tekniğe dayanmaktadır.

Hata ağacı; sistem hataları arasındaki ilişkileri gösteren mantıksal bir diyagramdır. Buradaki mantık tümdengelim temeline dayanmaktadır. Bu analiz içerisinde öncelikle “istenmeyen olay” tanımlanır ardından buna öncülük edebilecek hatalar ve bu hatalar arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılır. Bu analiz birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. HTEA’nde olduğu gibi analizi destekleyen yazılım alternatifleri de mevcuttur. Hata Ağacı Analizi, HTEA’nden farklı olarak ürün ve proses üzerine değil, özellikle istenmeyen olaylar üzerine yoğunlaşır. Hata ağaçlarının yaratılması sonucunda; herkes, istenmeyen olayın ortaya çıkmasına öncülük edebilecek olası olay veya olaylar grubunu bu yapı üzerinden izleyebilir.

Hata Ağacı Analizi’nin avantajları arasında; görsellik yönünün çok güçlü olması, modüler olması, sistem seviyesi hataların daha kolay anlaşılabilir hale getirilmesi ve Olay Ağacı Analizi ile beraber karmaşık davranışların modellenenbilmesinde kullanılabilirliği sayılabilir. Belli başlı dezavantajları ise; hazırlanan modellerin statik olması ve karşılaştırmalara izin vermemesi ile dinamik kapılar kullanılmadığı sürece önceliklerin tanımlanamamasıdır.

İKİNCİ BÖLÜM

GENEL OLARAK HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ METODU

2.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Tanımı

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), iyi yapılandırılmış bir güvenilirlik süreci içerisinde kullanılacak en etkin araçlardan birisidir. Yalnız başına kullanılabilmesi gibi; İleri Ürün Kalite Planlaması (Advanced Product Quality Planning-APQP) düzeyindeki kapsamlı süreçlerin bir parçası olarak diğer araçlarla beraber de kullanılabilir.

HTEA için farklı kaynaklarda, farklı tanımlamalar yapılmaktadır. Stamatis'e göre Hata Türü ve Etkileri Analizi; "Müşteriye gitmeden önce; sistemden, tasarımdan, üretimden ve/veya servisten kaynaklanan bilinen ve/veya olası hataların, problemlerin, yanlışların tanımlanması, belirlenmesi ve giderilmesine yarayan bir mühendislik tekniğidir (Stamatis,1995)". HTEA konusunda yayınlanmış ilk standart olan MIL-STD-1629A içerisinde ise şöyle bir tanımlama yapılmıştır; "Her bir bileşene ait önemli hata türlerinin ve bunların ortaya çıkmasının sistem çalışması üzerindeki etkilerinin/kritikliğinin tanımlanması ve dokümantasyonudur". Mizuno ve Akao'ya göre Hata Türü ve Etkileri Analizi; ürün, sistem, ekipman veya ürünü oluşturan bileşenlerin güvenilirliğinin sağlanmasında etkin olarak kullanılan bir araçtır. HTEA, güvenilirlik mühendisliğinin bir parçası olarak ürün ve proses hatalarını analiz eder (Mizuno ve Akao, 1994).

Bu tanımlamalar arasında en detaylı olanının ise, Otomotiv Endüstrisi Aksiyon Grubu (Automotive Industry Action Group-AIAG) tarafından yayınlanmış olan HTEA Referans Kitabı'nda yapılan tanımlama olduğu söylenebilir; "HTEA; bir ürün/prosesin olası hatalarının ve bu hataların etkilerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, olası hatanın oluşma olasılığını azaltacak veya ortadan kaldıracak aksiyonların tanımlanması

ve tüm sürecin dokümente edilmesi için tasarlanan sistematik bir aktiviteler topluluğudur (AIAG, 2001; 1)”

Tümevarımsal bir metod olan HTEA; tasarım, üretim ve servisten kaynaklanan hata türleri üzerine odaklanarak yalnızca bilinen değil, olası hataların da risklerini belirler ve önceliklendirir. Analizin temel amacı; söz konusu risklerin müşteriye ulaşmadan önce ortadan kaldırılması, kabul edilebilir bir düzeye indirilmesi veya ortaya çıkmalarını engelleyecek altyapının hazırlanmasıdır. Bu süreç içerisinde önerilen düzeltici/önleyici aksiyonlar da yönetilir. Böylelikle, analizin gelecekteki kullanımları için dokümente edilmiş bir yöntem oluşturularak kurumsal belleğe katkı sağlanır ve aynı zamanda sürekli geliştirme için de birçok olanak yaratılmış olur. Bu nedenle HTEA; ürün/proses/servisin kalitesini ve güvenilirliğini hedeflenen düzeye ulaştırma yolunda güçlü bir metottur.

Ayrıca, Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin konuyla ilgili kişiler arasındaki iletişimi güçlendiren bir yönü olduğu da unutulmamalıdır. Çünkü her ne kadar bu analize ait dokümanların hazırlanması bir kişinin sorumluluğunda olsa ve önerilen düzeltici/önleyici aksiyonların sorumluları kişisel bazda tanımlansa da; HTEA aslında firma içerisindeki farklı disiplinlerden gelen kişilerin oluşturduğu çok fonksiyonlu ekipler tarafından gerçekleştirilen bir analizdir. HTEA'nin başarılı olması için; “hata gerçekleştikten sonraki bir egzersiz” değil, tam tersine “olaydan önceki bir aksiyon” olduğu unutulmamalı ve analize olabildiğince erken aşamada başlanmalıdır.

2.2. Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Tarihçesi

HTEA'nin geçmişi 2.Dünya Savaşı'nın hemen sonrasına dayanmaktadır. İlk kez ABD ordusunda geliştirilmiş ve 9 Kasım 1949 tarihinde bir askeri standart olan MIL-STD-1629A (Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi Uygulama Prosedürleri) ile uygulanmaya başlanmıştır. Askeri alandaki kullanımı; özellikle sistem ve ekipman hatalarının etkilerinin belirlenmesi için bir güvenilirlik değerlendirme tekniği

şeklindedir. Konu standart içerisinde hatalar, görev başarısı ve personel/ekipman güvenliğine etkilerine göre sınıflandırılmıştır. Ardından 1960–65 yılları arasında NASA tarafından insanlı uzay projelerinde kullanılan HTEA'nin, ABD uzay sektöründe kullanılmasının temelinde ise özellikle; uzay aracının tek ve çok maliyetli bir ürün olması yüzünden hiçbir sistem ve detay parçasında hatanın istenmemesi yatmaktadır.

1970 yılında MIL-STD-1629A standardının “Çok Gizli” olma özelliği kaldırılmıştır. Bunu izleyen 5 yıl içerisinde HTEA'nin; havacılık, nükleer enerji ve elektronik sektörleri gibi ileri teknoloji alanlarında kullanılmaya başlandığı görülür. Otomotiv sektöründe ilk uygulaması 1977 yılında Ford Motor Company tarafından yapılan metot daha sonra otomotiv sektörünün diğer 2 büyük devi; General Motors ve Chrysler tarafından da kullanılmaya başlanmıştır (Gilchrist,1993). HTEA uygulamalarının, özellikle ABD otomotiv sektörü içerisinde geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasının temelinde; Amerikan otomobil üreticilerinin 1950'li yıllardan beri küresel rekabette kazandıkları başarının, 1970'li yıllarda Japon firmalarına karşı kaybedilmeye başlaması yatmaktadır.

1985 yılında İtalyan FIAT, Fransız Renault V.I. ve PSA'nın (Pegueot Citroen Grubu) da bu metodu kullanmaya başlaması ile HTEA, Amerikalı otomobil üreticilerinin yanı sıra Avrupalı üreticiler tarafından da benimsenerek, otomotiv sektöründe tasarım ve üretim sistemlerinin güvenilirliğinin sağlanmasında kullanılan temel metotlardan birisi haline gelmiştir.

1993 yılı Şubat ayında, otomotiv sektöründe “3 Büyükler” olarak adlandırılan; Chrysler, Ford Motor Company ve General Motors ortak bir çalışma ile ISO 9000 standartlar serisi üzerine kurulan QS 9000 standardını yayınlamıştır. Eş zamanlı olarak, Otomotiv Endüstrisi Aksiyon Grubu (Automotive Industry Action Group-AIAG) ve Amerikan Kalite Kontrol Derneği (American Society of Quality Control-ASQC) himayesi altında çalışan Chrysler, Ford Motor Company ve General Motors firmalarındaki HTEA ekipleri, otomotiv sektörü için olası hata türü ve etkileri analizi

referans kitabı, prosedürleri ve raporlama formatını oluşturmuştur. Tedarikçilerinin tasarım ve üretim proseslerinde HTEA metodunun uygulanması için sözü edilen referans kitabın kullanılması 3 büyük firma tarafından da onaylanmıştır. Bu standardizasyon çalışması öncesinde; Chrysler, Ford Motor Company ve General Motors firmalarının her birinin ayrı formatları vardı ve bu uygulama tedarikçilerin bünyesinde her bir müşteri için ek kaynakların (insan kaynakları, yazılım/donanım kaynakları gibi) kullanılmasını gerektiriyordu (Potential Failure Mode and Effect Analysis Reference Manual 1st Ed., 1993). QS9000 standardı kapsamında yer alan otomotiv firmaları, Hata Türü ve Etkileri Analizi'ni, İleri Ürün Kalite Planlaması'nın bir adımı olarak uygulamak zorundadırlar.

1999 yılında, ISO 9001:2000 temeli üzerine kurulu olan ve otomotiv sektörüne özel olarak hazırlanan ISO TS 16949 yayını ile QS9000 devreden kalkmış, ABD firmalarının yanı sıra Avrupalı araç üreticilerinin de tedarikçi firmalardan beklentileri tek bir çerçeve altında toplanmıştır. Bu standardın 2002 yılında yayınlanan son revizyonunun 7.3.3 Tasarım ve Geliştirme Çıktıları adlı başlığı altında; ISO 9001:2000 gereklerine ek olarak, ürün tasarım çıktıları arasında Tasarım HTEA, üretim prosesi tasarım çıktıları arasında da Proses HTEA'nin bulunması bir zorunluluk olarak vurgulanmaktadır (AIAG-ISO TS 16949, 2002; 15, 17).

Global firmalar 25 yılı aşkın bir süredir HTEA'ni sürekli olarak geliştirmektedir. Son olarak 2004 yılında 4.1 versiyonu yayınlanan Ford FMEA Handbook içerisinde analizin daha öncekilerden farklı olarak robustluk bağlantısı da tanımlanmıştır. Bilindiği gibi robust tasarım; süreçte ortaya çıkan değişkenliklerden etkilenmeksizin tasarım ve/veya üretim yapabilme yeterliliğidir. Ford Motor Company tarafından devreye alınan bu yeni uygulama ISO TS 16949:2002 ve Amerikan Otomotiv Mühendisleri Derneği (Society of Automotive Engineers-SAE) SAE J1739 standardının beklentilerinin de ötesine geçmektedir.

Günümüzde HTEA yalnızca havacılık, nükleer enerji ve elektronik sektörleri gibi ileri teknoloji alanlarında ve otomotiv sektöründe değil, üretim sektörü,

yazılım/donanım sektörü ile beraber sağlık, turizm gibi birçok hizmet sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin medikal hatalar yüzünden yılda ortalama 98.000 insanın ölmesi yüzünden, Sağlık Organizasyonları Birleşik Akreditasyon Komisyonu (Joint Commission on Accreditation of Health Organizations-JCAHO) hastanelerin HTEA'ni bir disiplin olarak uygulamasını ve her yıl güncellemesini ister. Bu gereklilik komisyonun JCAHO LD.5.2 no'lu standardında tanımlanmaktadır.

2.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Amaçları

Öncelikli amaçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Ürün, proses veya hizmette oluşabilecek hata türlerini önceden belirlemek
2. Söz konusu hata türlerinin neden olacağı riskleri; müşteriye ulaşmadan önce ortadan kaldırmak, kabul edilebilir bir düzeye indirmek veya ortaya çıkmalarını engelleyecek altyapıyı hazırlamak
3. Farklı süreçlerde oluşabilecek riskleri belirlemek, önceliklendirmek ve yönetmek
4. Bu risklere karşı yürütülmesi gereken düzeltici/önleyici aksiyonları belirlemek ve yönetmek
5. Tüm bunları dokümanle ederek ileriki projelerde firma içerisinde kullanımını sağlamak ve bu konuda kurumsal bir bellek yaratmak.
6. Firma tarafından sunulan ürün ve hizmetlerin güvenilirliğini arttırmak

2.4. Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Türleri

HTEA'nin çeşitli türleri vardır. Bunlardan bazıları yoğun olarak kullanılırken bazılarının kullanımı da, sektörler bazda ve/veya firma bazında sınırlı kalmaktadır. Yaygın olarak kullanılan türler aşağıda belirtilmektedir.

1. Sistem Hata Türü ve Etkileri Analizi (Sistem HTEA): Global sistem fonksiyonlarına odaklanır. Özellikle sistemin, alt sistemle olan etkileşimlerini inceler. Çalışmalar Sistem Mühendisliği liderliğine yürütülür. Konsept tasarım aşamasında uygulanır ve alt sistem/bileşenlerin Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi'ne girdi sağlar.

2. Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi (Tasarım HTEA): Alt sistem ve bileşenlerin tasarım fonksiyonlarına odaklanır. Belirlenmiş olan tasarımı detaylı olarak inceler. Çalışmalar Tasarım Mühendisliği liderliğinde yürütülür. Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi'ne girdi sağlar.

3. Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi (Proses HTEA): Alt sistem ve bileşenlerin üretim fonksiyonlarına odaklanır. Belirlenmiş olan prosesi detaylı olarak inceler. Çalışmalar Üretim Mühendisliği liderliğinde yürütülür.

4. Hizmet Hata Türü ve Etkileri Analizi (Hizmet HTEA): Hizmet fonksiyonları üzerine odaklanır.

5. Yazılım Hata Türü ve Etkileri Analizi (Yazılım HTEA): Bilgisayar yazılımlarının fonksiyonları üzerine odaklanır.

6. Ekipman Hata Türü ve Etkileri Analizi (Ekipman HTEA): Proseste kullanılan ekipmanlar üzerine odaklanır. Özellikle “7 Büyük Kayıp” incelenir; büyük arızalar, küçük arıza ve durmalar, makina ayarları, kapasite düşümü, başlangıç kayıpları, hatalı parçalar ve takımlandırma. Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi'ni desteklemek amacı ile kullanılır.

7. Çevre Hata Türü ve Etkileri Analizi (Çevre HTEA) – Ford firmasına özel: Ürün, proses ve ekipmanların çevresel etkileri üzerine odaklanır. Hammadde üretiminden, ürünün kullanım ömrü sonuna kadar geçen tüm yaşam çevrimi incelenir.

Özellikle ömrünü tamamlamış olan araçlar ile ilgili olarak yayınlanan uluslararası direktifler (End of Life Vehicle-ELV gibi) bu analiz türünün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Minimum enerji ve doğal kaynak kullanımı, minimum ağır metal kullanımı, en iyi geri dönüşüm performansı ve en iyi yakıt ekonomisinin sağlanması gibi temel amaçları vardır.

Bu tez içerisinde yer alan Üçüncü Bölüm'de; en yaygın kullanım alanına sahip ve belirli sektörler ve/veya firmalar bünyesinde sınırlı kalmamış iki analiz türü olan; Tasarım HTEA ve Proses HTEA detaylı olarak incelenecektir.

2.5. Hata Türü ve Etkileri Analizlerinin Sağladığı Ortak Yararlar

Hata türü ve etkileri analizlerinin türden bağımsız olarak sağladığı ortak bazı yararlar vardır. Bu yararların özelliği, firma seviyesinde olmaları ve disiplinler üstü bir karakter taşımalarıdır. Sözü edilen yararlar ana başlıklar altında özetlenecek olursa;

1. Ürün/ proses ve hizmet kalitesi, güvenilirliği ve emniyetinin artırılması
2. Firma rekabet yeteneklerinin artırılması
3. Firma imajının desteklenmesi
4. Müşteri tatmininin artırılması
5. Garanti maliyetlerinin azaltılması
6. Mühendislik ve organizasyon bilgisinin artırılması
7. Olası risklerin önceliklerine göre sıralandırılması
8. Geç değişikliklerin ve buna bağlı maliyetlerin azaltılması
9. Yapılan çalışmaların dokümanite edilerek; gelecekteki projeler için bir referans bilgi kaynağı oluşturulması
10. Ekip çalışması ruhu ve fonksiyonlar arası iletişimin güçlendirilmesi
11. Sürekli gelişme bilincinin hem firma hem de tedarik zinciri içerisinde yaygınlaştırılması

Tasarım ve Proses HTEA sonucunda elde edilecek olan analiz bazlı yararlar ise Üçüncü Bölüm içerisinde detaylandırılacaktır.

Aslında tüm bu yararlar incelendiğinde; sistematik olarak HTEA uygulayan firmaların, yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip ürünleri, düşük maliyetler ile en kısa sürede tasarlayarak ve/veya üreterek pazarda ciddi bir rekabet avantajı yaratabileceği görülür. Ayrıca konu analizler, sağladıkları dokümantasyon alt yapısı ile sürekli güncelleştirilebildiğinden, sürekli geliştirme için de organizasyonel bir farkındalık sağlayacaktır.

2.6. Hata Türü Etkileri Analizi Ekiplerinin Profili

HTEA, kalite sistemleri içerisinde çok fonksiyonlu veya çapraz fonksiyonlu ekipler olarak adlandırılan, firma içerisindeki farklı disiplinlerden gelen katılımcılar tarafından yürütülen bir ekip çalışmasıdır. Analizin temelinde farklı bakış açısı ve deneyimlerin gündeme getirilerek kullanılması yatar.

Ekiplerin liderleri ve üyeleri, analizin türüne göre farklılık gösterir. Tasarım HTEA ekibi içerisinde; liderin; ürün tasarım bölümünden, üyelerin; üretim, montaj, kalite, metod, malzeme, test, servis, satış ve satınalma bölümlerinden olması önerilir. Proses HTEA ekibi içerisinde ise; liderin; üretim/montaj bölümünden, üyelerin; kalite, metod, bakım-onarım, malzeme, servis ve satınalma bölümlerinden olması önerilir. Servis HTEA ise özellikle satış, pazarlama, servis ve kalite gibi müşteri ile direkt ilişkili bölümlerin katılımı ile yürütülür. Ekipman HTEA ekibinin lideri metod bölümüdür. Bu ekip içerisinde üretim/montaj, bakım-onarım, kalite ve satınalma bölümlerinden katılımcılar yer alır. HTEA ekipleri içerisinde farklı bölümlerden katılımcıların olması nedeni ile olası problemler aynı anda görüşülerek değerlendirilmiş olur. Böylelikle karar mekanizması daha hızlı işleyebilir, kararlar geniş katılımlı bir ortamda alınabilir ve bölümler arasındaki işbirliği artırılabilir.

Ekibi oluşturacak olan üyelerin; süreç içerisinde sorumlulukları olan, firma sistem dokümantasyonunu bilen, yorum yapma yeteneğine sahip ve ekip çalışmasına yatkın kişiler arasından seçilmesine dikkat edilmelidir. Her üyenin aynı deneyim düzeyine sahip olması pek önerilmez. Çok deneyimli katılımcıların yanı sıra; yeni, önyargısız ve objektif görüşlerin ortaya konabilmesi açısından; fazla deneyimi olmayan üyelerin de ekip içerisinde bulunmaları sağlanmalıdır.

Genelde ekipler; çekirdek ekip ve destek ekipleri olarak iki ana gruba ayrılır. Çekirdek ekip, HTEA'nin tüm fazlarına direkt olarak katılırken, destek ekibi ihtiyaç durumunda spesifik bir girdi ve/veya görüş vermek için analiz sürecine dahil olur. Destek ekipleri içerisine genellikle alt tedarikçiler ve müşteri firmadan katılımcılar ile bağımsız sektör uzmanları ve bilirkişilerin katılması istenir.

Çekirdek ekipler için boyut genellikle 7–9 kişi ile sınırlandırılmaya çalışılmalıdır. Ancak bu arada analiz ile direkt ilişkili tüm bölümlerden üyelerin ekip içerisinde temsil edilme koşulu da gerçekleştirilmelidir. Ekip üyelerinin HTEA yanı sıra; takım çalışması, veri analizi, deney tasarımı, kalite fonksiyon göçerimi, karşılaştırma, üretilebilirlik/montaj edilebilirlik ve servis edilebilirlik için tasarım, problem çözme teknikleri, hata önleme ve istatistiksel proses kontrol gibi konularda eğitilmiş olmaları analiz sonuçlarının kalitesini yükseltecektir. Oluşturulan HTEA ekipleri çalışmalar sonuçlandırılana kadar periyodik toplantılar düzenler. Bu toplantıların sıklığı, çalışmanın amaçlarına ve tamamlanma hedef tarihine göre belirlenmelidir.

Ayrıca daha efektif bir çalışma için; toplantılar olabildiğince kısa tutulmalı, toplantı tutanakları ilgililere dağıtılmalı, toplantıya katılmaları istenen destek ekibi üyeleri toplantının konusu ve yapılması gerekli olan hazırlıklar konusunda bilgilendirilmelidir.

Ekip lideri, üst yönetim tarafından belirlenebileceği gibi analizin türüne göre ekip üyeleri tarafından ilgili bölümün temsilcileri arasından seçilebilir. Liderin asıl

görevi HTEA aksiyonları arasındaki koordinasyonun sağlanmasıdır. Bu nedenle özellikle; toplantıların planlanması, gündeminin belirlenmesi ve yönetimi, çalışmalar için gerekli kaynakların yaratılması ve analiz çalışmalarının sürekliliğinin sağlanması ekibin amaçtan uzaklaşmamasından sorumludur. Lider, ekip üzerinde baskı kurmamalı ve kararlarda son sözü söyleyen kişi durumunda olmamalıdır. Çünkü ekip liderinin rolü; karar verici olmaktan çok, işleyişi kolaylaştırmak yönündedir (Mc Dermott, Mikulak ve Beauregard, 1996; 16-17).

Analiz çalışmaları sırasında ekip tarafından belirlenen düzeltici/önleyici aksiyonların uygulanması ve izlenerek sonuçlarının değerlendirilmesi ise, genellikle HTEA ekibinin dışında kalan ayrı bir ekip tarafından (Kalite Güvence Bölümü çalışanları gibi) gerçekleştirilir.

2.7. Hata Türü Etkileri Analizi Ne Zaman Başlatılır ve Sonlandırılır?

Otomotiv Endüstrisi Faaliyet Grubu-AIAG tarafından HTEA aksiyonlarının başlatılması için tanımlanmış olan 3 temel neden vardır.

1. Yeni ürün, teknoloji veya proseslerin tasarlanması (Analizin kapsamı tüm ürün, teknoloji ve proseslerdir)
2. Mevcut ürün veya proseslerde değişiklik yapılması (Analizin kapsamı ürün veya proses değişiklikleri ve değişiklik sonucu ortaya çıkacak olası etkilerdir)
3. Mevcut ürün veya prosesin yeni bir çevre, lokasyon veya uygulamada kullanılması (Analizin kapsamı yeni çevre, lokasyon veya uygulamanın mevcut ürün veya proses üzerindeki olası etkileridir)

Yukarıda belirtilen temel nedenlere birkaç ekleme yapılabilir. Özellikle ürün ve proseslerde önemli iç hatalar görüldüğünde, ciddi müşteri şikayetleri ile karşılaşıldığında ve yeni yasa/yönetmelikler devreye girdiğinde de analizler tekrarlanmalıdır.

Geçmiş projelerden öğrenilmiş derslere ait kayıtları da içerisinde barındırarak firmanın kurumsal belleğine katkı sağlayabilmesi açısından konu dokümanların; yukarıda belirtildiği gibi belirli nedenlere bağlı (herhangi bir olağan dışı durum karşısında) veya periyodik olarak güncellenmesi gerekir.

Tasarım HTEA dokümanlarının;

1. Konsept tasarımın sonuçlandırılması ile beraber veya öncesinde başlatılması
2. Ürün tasarım sürecinin aşamaları boyunca yeni bir bilgi sağlandığında veya değişiklik olduğunda sürekli olarak güncellenmesi
3. Seri üretimde kullanılacak olan fikstür/aparat ve takımlandırma için teknik resim yayını yapılmadan önce tamamlanmış olması gerekir.

Proses HTEA dokümanlarının ise;

1. Fizibilite aşamasında başlatılmış olması
2. Detay parçalardan son komplelere kadar tüm üretim ve montaj operasyonları dikkate alınarak hazırlanması
3. Seri üretimde kullanılacak olan fikstür/aparat ve takımlandırma için çalışmaların başlamasından önce tamamlanmış olması gerekir.

Tasarım HTEA çalışmasının; seri üretim için onay verildiğinde, Proses HTEA çalışmasının da tüm özel karakteristikler (kritik ve önemli) belirlenerek kontrol planı tamamlandığında sonuçlandırılmış olduğu varsayılır (Ford FMEA Handbook 3rd. Ed., 2004; 2, 21).

2.8. Hata Türü Etkileri Analizi'nin Sınırlarının Tanımlanması

HTEA ekibinin; analizin yürütülmesi, geliştirme/iyileştirme önerilerinin sunulması ve uygulanması konusunda hangi sınırlar içerisinde kalması gerektiği analiz öncesinde net olarak tanımlanmalıdır. Örneğin;

1. Ekibin sorumlulukları yalnızca analizin yürütülmesi ile mi sınırlıdır? Yoksa önerilerin hayat geçirilmesi ve uygulanmasından da sorumlu olacaklar mıdır?
2. Analiz için öngörülen bütçe ne kadardır?
3. Projenin tamamlanması için hedef tarihler ve mihenk taşları belirlenmiş midir?
4. Eğer ekibin belirlenen sınırların dışına çıkması gerekirse nasıl bir prosedür uygulanacaktır?
5. Analizin kapsamı net olarak tanımlanmış ve yazılı hale getirilmiş midir?

Öncelikle yukarıda belirtilen sorulara yanıt alınmalı ve analiz süreci bu sınır tanımlamalarına göre yönlendirilmelidir.

Serbestlik sınırlarının üst yönetim tarafından çok net olarak açıklanması gerekir. Bazı sınırların, tüm HTEA ekipleri için standart yönlendirmelerin içerisinde kalması söz konusu olabilir. Örneğin; ekibin belirlenen sınırların dışına çıkma gereksinimi var ise, hangi yolu izleyeceğini tanımlayan bir prosedür mevcut olabilir. Bu prosedür, tüm HTEA ekipleri için geçerlidir. Ancak analizin kapsamı gibi bazı sınırların ise, her bir analiz için ayrı ayrı tanımlanması gerekmektedir. Kapsamın çok açık ve net olarak tanımlanması özellikle Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi için oldukça önemlidir. Çünkü proses analizleri; ham parça/talaşlı ve talaşsız üretim/montaj ve ürünün sevke hazır hale getirilmesi ve sevkiyat adımlarından yalnızca birisine veya birkaçına odaklanacağı gibi, ham parçadan sevkiyata kadar olan tüm süreci de kapsam içerisine alabilir. Özellikle büyük proseslerde, proses HTEA'nin verimli olarak sürdürülebilmesinin yanında hedeflenen tarihte tamamlanabilmesi açısından da, analiz kapsamının net olarak tanımlanması hatta prosesin belirli adımlarını inceleyecek şekilde daraltılması önem kazanmaktadır.

2.9. Hata Türü Etkileri Analizi Modeli (Süreç Akışı)

HTEA bir model üzerinden yürütülür. Bu model içerisinde 3 temel adım vardır. Analizin birinci adımında öncelikle; kapsam içerisine giren tüm fonksiyonlar tanımlanır

ve bu fonksiyonlarda ortaya çıkabilecek hata türleri öngörülme çalışılır. Daha sonra her bir hata türünün etkileri ve nedenleri belirlenir. Ayrıca her hata türüne karşılık gelen etkiler için mevcut ve/veya uygulanması düşünülen kontroller de form üzerinde belirtilir.

İkinci adımda; hata türleri, şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik açısından puanlanır. Bu puanların çarpımından elde edilen Risk Öncelik Göstergesi (RÖG), hata türleri arasında bir önceliklendirme yapılmasında kullanılır. Hata Türü ve Etkileri Analizinde; olasılık hatanın frekansı, şiddet hatanın etkisinin büyüklüğü ve keşfedilebilirlik de söz konusu hatanın müşteri/kullanıcıya ulaşmadan fark edilebilme olanağını tanımlar. Puanlandırma sırasında uluslararası boyutta kabul görmüş bazı hazır tablolar kullanılabilir. Tasarım ve Proses HTEA için önerilen tablolar Üçüncü Bölüm içerisinde detaylandırılacaktır.

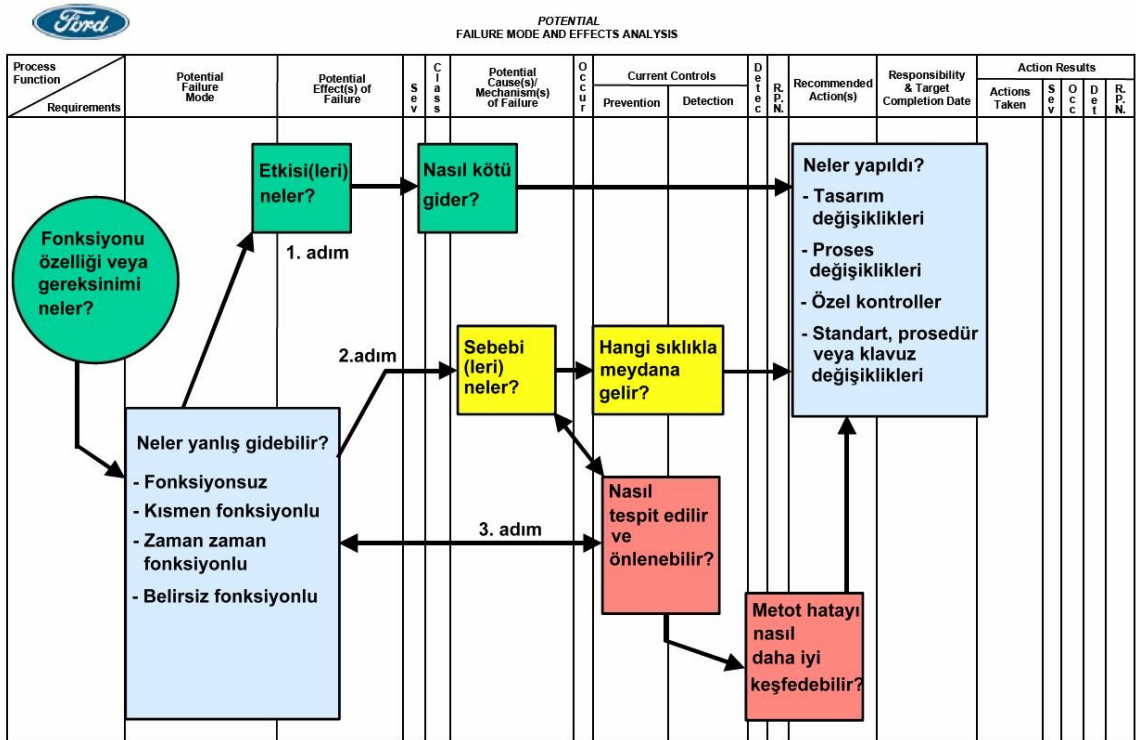
Ardından; RÖG puanlarına göre risk değerlendirmesi yapılır. Böylelikle HTEA; sınırlı kaynakların, kalite, güvenilirlik ve emniyetin artırılması için riski yüksek olan ürün ve proses konularına odaklanması amacıyla kullanılmış olur (Stamatis,1995).

Yukarıdaki adımların standart HTEA formundaki kolon başlıkları ile nasıl bir ilişki içerisinde oldukları (HTEA Modeli) ŞEKİL 2.1.'de belirtilmektedir.

Değerlendirme öncesinde bir eşik değerinin belirlenmesi gerekir. Söz konusu eşik değerinin belirlenmesi için, belirli bir güven düzeyinin kabul edilmesi en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Her üç kriter için (şiddet, olasılık, keşfedilebilirlik) 10'lu derecelendirme sisteminin kullanıldığı düşünülürse; ulaşılabilecek maksimum RÖG puanı 1000 olacaktır. İstatistiksel güven düzeyi %90 olarak kabul edildiğinde, eşik değeri 100 olarak elde edilir. RÖG puanı belirlenen eşik değerinin üzerinde olan tüm hata türleri için düzeltici/önleyici aksiyonlar belirlenmelidir.

Otomotiv sektöründeki HTEA uygulamalarında eşik olarak kabul edilen RÖG puanı 100'dür. Ancak son yıllarda büyük firmalar bu değeri 50'ye çekme eğilimindedir. Aslında eşik değerinin belirlenmesinde, istatistiksel güven düzeyinin yanı sıra; firmanın ve ürün veya hizmetin pazardaki konumu, ürünün kullanım yeri (güvenlik parçası olup olmadığı), yasalar ve yönetmelikler, hatanın önlenmesi veya hata riskinin ortadan kaldırılması için alınacak önlemleri zorluğu ve fayda-maliyet ilişkisi, ürün ve hizmetin rekabet düzeyi ve fiyatı da belirleyici olmalıdır.

Alınması planlanan düzeltici/önleyici aksiyonlar tamamlanmasının ardından veya aksiyon sorumlusundan ileriye dönük olarak alınan öngörüler doğrultusunda; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri yeniden belirlenir ve yeni RÖG puanları hesaplanır. İkinci hesaplama sonrasında ulaşılan değerlerin, belirlenmiş olan eşik değerinin altında olması beklenir.



Şekil 2.1: HTEA Modeli

Bazı kaynaklarda; başlangıçtaki en büyük RÖG ile düzeltici/önleyici aksiyonlar tamamlandıktan sonraki en büyük RÖG'nin birbirine oranı “Güvenilirlik Geliştirme Oranı” (Reliability Improvement Ratio – RIR) olarak tanımlanır (Hari ve Weiss, 1999; 13).

$$\text{Güvenilirlik Geliştirme Oranı} = (\text{RÖG}_{\text{maksimum ilk}}) / (\text{RÖG}_{\text{maksimum son}})$$

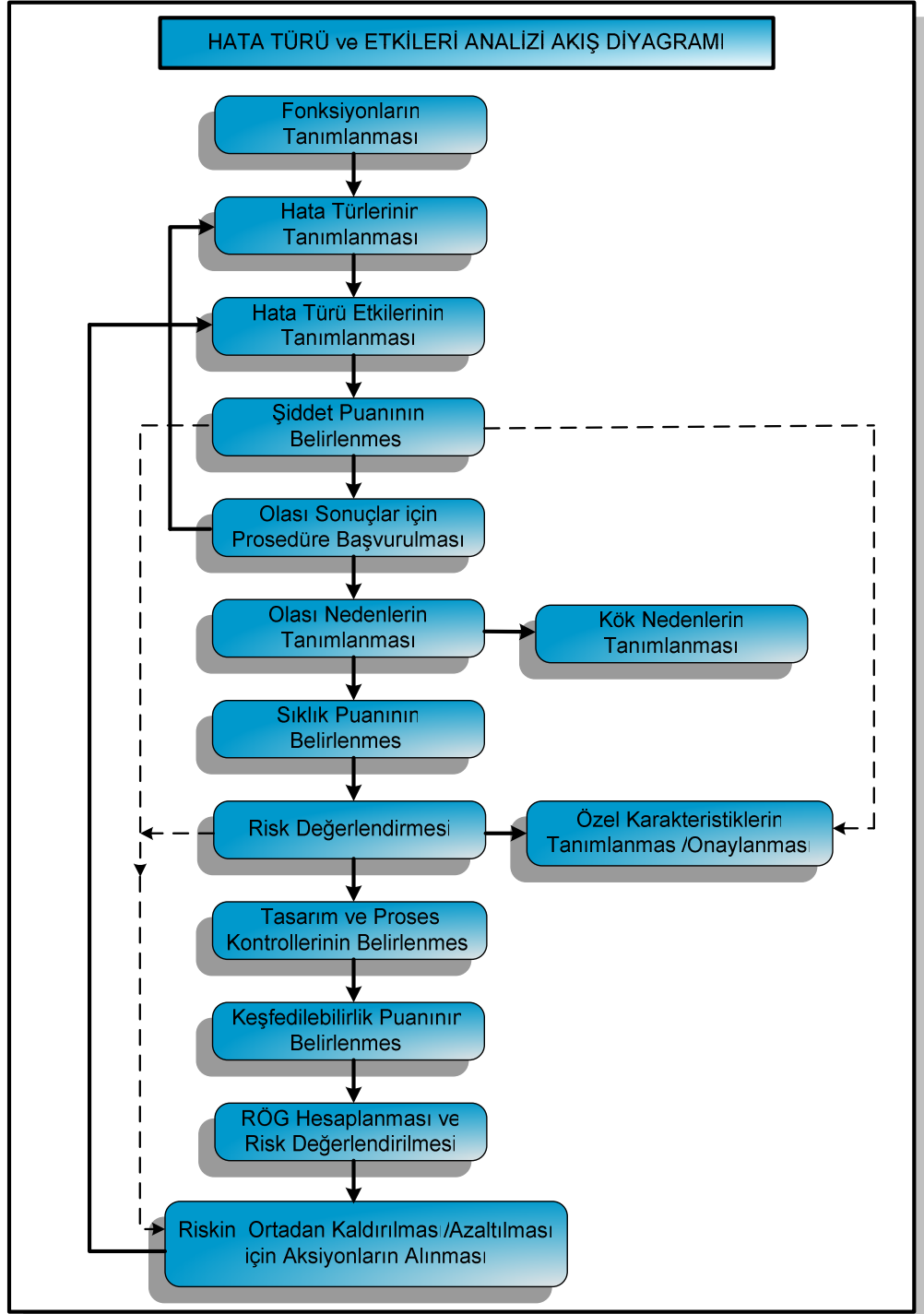
Önerilen aksiyonlar; hatanın şiddetini azaltıcı, olasılığını azaltıcı veya keşfedilebilirliğini arttırıcı yönde olabilir. HTEA'nden somut yararlar elde edilebilmesi için söz konusu aksiyonların tamamlanması gerekir. Aksi halde analizin yararları sınırlı kalacaktır. HTEA bir kez uygulandıktan sonra; ani sonuçlar beklenmemeli ancak uygulamaya devam ederek ekonomik getirilerinin değerlendirilmesi alışkanlığı kazanılmalıdır. Firma içerisindeki analiz yetenekleri geliştikçe daha zorlu ürün/proses ve hizmetler kapsam içerisine alınmalıdır. Ayrıca analiz süresini kısaltmak ve etkinliğini arttırmak için özel olarak bu amaçla hazırlanmış profesyonel HTEA yazılımlarından yararlanılması gerekir.

Yukarıda bahsedilen modelin yanında HTEA'nin süreç akışı bir diyagram yardımı ile de görselleştirilebilir. HTEA süreç akış diyagramı Şekil 2.2'de verilmektedir.

2.10. Hata Türü Etkileri Analizi ile İlgili Standartlar

HTEA ile ilgili yayınlanmış olan birçok standart mevcuttur. Bu standartlara belli başlı örnekler aşağıda verilmektedir.

1. MIL-STD-1629A: Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi Uygulama Prosedürleri / (Procedures for Performing Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)



Şekil 2.2: HTEA Süreç Akış Diyagramı

2. SAE J1739: Tasarımda Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (Tasarım HTEA), Üretim ve Montaj Proseslerinde Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (Proses HTEA) ve Ekipman için Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (Ekipman HTEA) / (Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA))

3. BS 5760–5: Hata Türleri, Etkileri ve Kritiklik Analizi Rehberi (HTEA ve HTEKA) / (Guide to Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMEA and FMECA))

4. IEC 60812: Hata Türü ve Etkileri Analizi için Prosedürler (HTEA) / (Procedures for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA))

5. SAE ARP 5580: Otomobil Haricindeki Uygulamalar için Önerilen Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) Pratikleri / (Recommended Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Practices for Non-Automobile Applications)

MIL-STD-1629A, bu konuda yayınlanmış olan ilk standarttır. Öncelikle Amerikan hükümeti ve ordusu tarafından kullanılmış, ardından gizlilik özelliğinin kaldırılması ile tüm dünya çapında endüstriyel alanda kullanılmaya başlanmıştır. SAE J1739, Ford Motor Company gibi Amerika orijinli büyük üreticilerin ve tedarikçilerinin kullandığı prosedürlerin temelini oluşturur. BS 5760–5 ise özellikle İngiliz firmaları tarafından referans olarak kullanılmaktadır.

ARP 5580 ise MIL-STD-1629A ve otomotiv standartlarının kombinasyonu şeklindedir. Tüm bu standartlar genel HTEA dokümanlarının ana hatlarını ortaya koyar, olası hatalar ile ilişkili risklerin belirlenmesi için ölçütleri tanımlar ve analiz uygulamaları için genel yönlendirmeler yapar. Günümüzde birçok global firma konu standartlar temelinde kendi özel prosedürlerini oluşturmuşlardır.

2.11. Hata Türü Etkileri Analizi'nin İleri Ürün Kalite Planlaması İçerisindeki Yeri

HTEA süreci, kapsamlı bir kalite ve güvenilirlik programı içerisinde kullanılmalıdır. Tek başına bir araç olarak kullanıldığı zaman da etkili olabilese de, analizi destekleyecek ve zenginleştirecek bir program olmadığında maksimum verim alınamayacaktır.

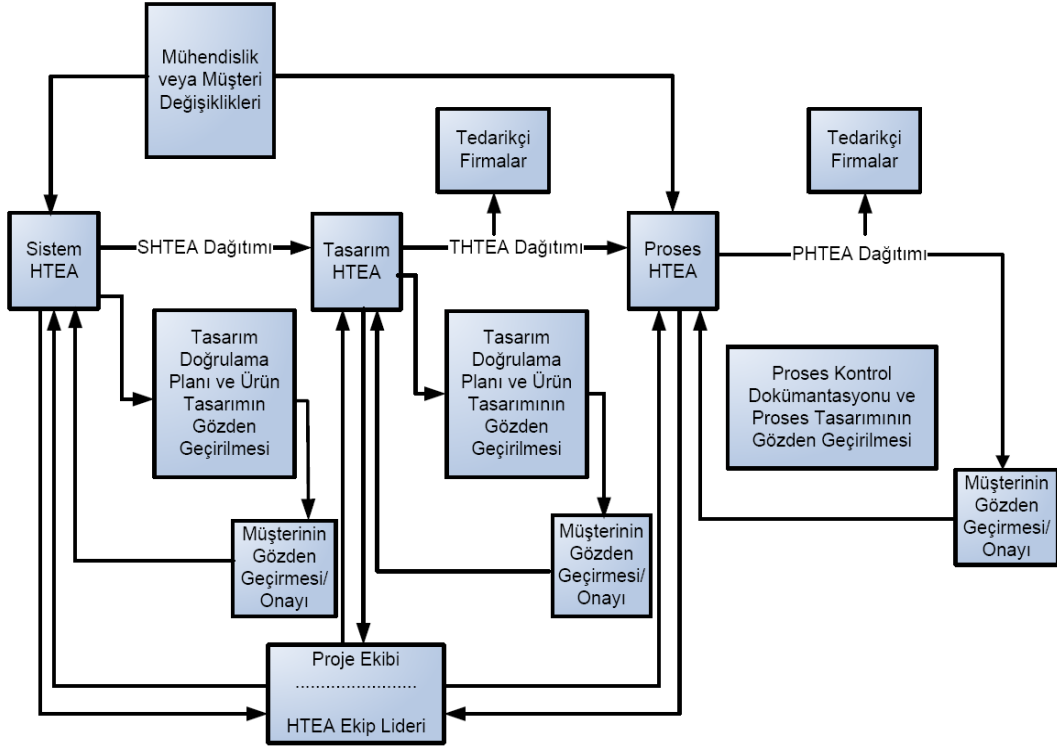
Kapsamlı programların elemanlarından birisi; verilerin ve bilginin etkili kullanımınıdır. Ürün veya prosesler ile ilgili güvenilir veriler olmadığı sürece HTEA gerçekleri yansıtmayacaktır. Bu durumda ekip, daha öncelikli riskler yerine daha önemsiz riskler veya yanlış hata türleri üzerine yoğunlaşabilir. Kapsamlı bir program gereksinimini destekleyen bir diğer örnek de; prosedürlerin dokümanite edilmiş ve ilgili süreçlerin kararlı olmasıdır. Aksi halde süreçlerin çıktıları her seferinde değişkenlik göstereceği için, HTEA'nin hedefi de oynar bir hedef haline gelecektir.

ISO TS 16949:2002 7.1 Ürün Gerçekleştirmenin Planlanması adımı tedarikçi firmaların “İleri Ürün Kalite Planlaması” gibi bir sürece sahip olmaları önerilir. Konu madde başlığı altında; İleri Ürün Kalite Planlama Süreci'nin; hatanın keşfedilmesine karşıt olarak hata önleme ve sürekli geliştirme konseptini kapsadığı ve çok disiplinli bir yaklaşım temeline dayandığı vurgulanmaktadır (AIAG ISO TS 16949, 2002; 12).

İleri Ürün Kalite Planlaması 5 adımdan oluşan bir süreçtir; 1. Projenin planlanması ve tanımlanması, 2. Ürün tasarımı ve geliştirilmesi, 3. Proses tasarımı ve geliştirilmesi, 4. Ürün ve prosesin geçerli kılınması, 5. Geri besleme değerlendirilmesi ve düzeltici faaliyet.

HTEA, söz konusu süreç kapsamında, müşteri beklentileri ve gereksinimleri ile uyumlu olan ve rekabet avantajı yaratan ürünlerin tasarlanması ve geliştirilmesinde kullanılan analitik metotlardan birisidir. Sürecin 1. adımının çıktıları arasında Tasarım

HTEA, 2. adımının çıktıları arasında da Proses HTEA yer alır. En çok kullanılan türler olan; Sistem, Tasarım ve Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi arasındaki ilişki Şekil 2.3’de verilmektedir.



Şekil 2.3: Belli Başlı HTEA Türleri Arasındaki İlişki

2.12. Diğer Metotlar ve Hata Türü Etkileri Analizi ile İlişkileri

Ürün ve proses güvenilirliğinin artırılmasında yaygın olarak kullanılan birçok metot vardır. Bu metotların ortaya çıkmasının temelinde; özellikle maliyet, zaman ve müşteri odaklılık konusunda artan pazar talepleri, yoğun rekabet baskısı, ürün sorumluluğu konusunda yaygınlaşan yasa/yönetmelikler, yeni enformasyon teknolojileri

ve küreselleşme yatmaktadır. Ayrıca uluslararası kalite yönetim sistemlerinin de bu metotların kullanılmasını şiddetle önermesi hatta bazı aşamalarda zorunlu hale getirmesi yaygın kullanımın gerekçelerindedir.

Bu başlık altında HTEA ile ilişkili diğer metotların detayına girilmeyecek, metotlardan kısaca bahsedilecek ve HTEA ile ilişkileri vurgulanmaya çalışılacaktır.

2.12.1 Kalite Fonksiyon Göçerimi

Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG); tasarım kalitesini ürün daha tasarım aşamasında iken güvence altına almanın bir yoludur (Akao, 1990). Bir metodoloji olduğu gibi aynı zamanda ürünlerin ve proseslerin tasarımı, üretimi ve pazarlanması sırasında müşteri beklentilerini hedef alan bir planlama ve haberleşme aracıdır (Gevirtz, 1994). KFG yalnızca pazara ürün/hizmet sunma süresini kısaltan bir metod değil, aynı zamanda müşteri beklentilerinin daha tasarım aşamasında ürün/hizmetlere yansıtılmasını sağlayan bir metottur. Bu çalışmalarda dört temel aşama vardır; tasarım, detay, uygulama ve ürün. Bu aşamalar tasarım ekibini müşteri tatminini sağlamaya dönük aksiyonlara yönlendirmektedir (Crowe ve Cheng, 1996; 37-38).

KFG; müşterinin talep ve beklentilerini somut tasarım hedeflerine dönüştürmeyi amaçlar. Bu dönüşüm; müşteri talep ve beklentilerini, bunların nasıl karşılanacağı ile karşılaştıran bir matris aracılığı ile gerçekleştirilir. Kalite Fonksiyon Göçerimi uygulaması ile sağlanabilecek temel yararlar aşağıda kısaca özetlenmiştir (Gevirtz, 1994);

- Yeni ürünlerin pazara giriş sürelerinin kısaltılması
- Müşteri tatmininin artması
- Rekabet yeteneğinin artırılması
- Tasarım değişikliklerinin sayısının ve maliyetlerinin azaltılması
- Müşteri talep ve beklentileri ile ilgili sistematik bir veri tabanı oluşturulması

- Bölümler arası işbirliğinin artırılması

Kalite Fonksiyon Göçerimi'nde kullanılan "Kalite Evi" kavramı, kalite ve performansın müşterinin beklentileri doğrultusunda tanımlanmasına yardımcı olur. Müşterinin beklentileri ile bu beklentileri karşılayan performans arasındaki ilişkiyi kurar.

HTEA ve KFG uygulamalarının aslında birbirini tamamlayıcı yönleri olduğu söylenebilir. HTEA'ne başlarken somutlaştırılmış müşteri talep ve beklentilerine ihtiyaç vardır. Bu amaçla KFG metodundan yararlanılabilir. Çapraz fonksiyonlu HTEA çekirdek ekipleri ve aynı zamanda tedarikçi firmalar, sektördeki bilirkişiler ve hatta müşteri firmalardan katılımcıların oluşturduğu destek ekipleri, HTEA'nin dışında "müşterinin sesi"nin belirlenmesinde de etkin rol oynayabilir. Ayrıca KFG çalışmaları sırasında, matrisler içerisindeki kontrol noktaları belirlenirken HTEA sonucunda yüksek RÖG değerine sahip olanlar öncelikli kontrol noktaları olarak seçilebilir.

2.12.2 Eş Zamanlı Mühendislik

Yeni bir ürün veya prosesin tasarımında kullanılan geleneksel yöntemler, tasarım sürecinin bir aşaması tamamlandıktan sonra diğerine başlanmasını öngörür. Başka bir deyişle bu yöntemler ardışık bir karakter taşırlar. Söz konusu uygulamalarda genellikle tasarımdan sorumlu ekipler, üretim ve satış/pazarlama ekiplerinden bağımsız olarak çalışır. Eş zamanlı mühendislik (concurrent engineering veya simultaneous engineering) metodu ise; firma içerisindeki aksiyonların ardışık yerine paralel yürütülmesi temeline dayanır. Bu metot ile sağlanabilecek temel yararlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Tüm kaynakların (insan, ekipman v.s.) optimum şekilde kullanılması
- Yeni ürün pazara sürme süresinin azaltılması
- Mühendislik maliyetlerinin azaltılması
- Rekabet yeteneğinin artırılması
- Tasarım değişikliklerinin sayısının azaltılması

- Bölümler arası işbirliğinin artırılması

Eş zamanlı mühendislik ile HTEA metotları arasındaki en büyük benzerlik; her iki metod için de, ekiplerin farklı bölümlerden gelen katılımcılardan oluşması ve ortak karar alarak süreci kısaltmalarıdır. Ayrıca, bölümler arası iletişim artacağı için bilgi akışı da hızlanacak ve çoğu problem ortaya çıkmadan fark edilerek engellenecektir.

2.12.3 Kıyaslama

Kıyaslama, ürün/proses ve hizmetlerin performansların; tanınmış lider firmaların performansları ile karşılaştırılmasıdır. Bu metod uygulanırken, “world class” firmalar ve bu firmaların uygulamaları (best practices) belirlenmelidir. “World class” firmalar, tüm dünyada konularında en iyi oldukları kabul edilen firmalardır.

Kıyaslama türleri; ürün, proses, hizmet ve strateji olarak dört ana başlıkta toplanabilir. Bu metod uygulanırken özellikle; “ Biz nasıl yapıyoruz? En iyi kim? Onlar nasıl yapıyorlar?” soruları üzerine yoğunlaşılmalıdır. Kullanılabilecek kaynaklar arasında; pazar araştırmaları, sektörel analizler, yıllık raporlar, süreli yayınlar ve kıyaslama uygulamalarının yaygınlaştırılması amacı ile kurulmuş portaller sayılabilir.

Kıyaslama metodu, HTEA’ne özellikle, olası hata türleri ve bunların keşfedilme yöntemleri konusunda girdi sağlayacaktır. Firmalar eğer yeni bir ürün veya proses tasarımı yapıyorlar ise, “world class” firmaların uygulamalarını kıyaslayarak olası hata türleri ve bunların keşfedilme yöntemleri konusunda yıllar boyunca kazanılmış deneyimleri irdeleme şansı bulabilirler. Ayrıca mevcut bir ürün/proses veya hizmet konusunda yapılan Hata Türü ve Etkileri Analizi’nde, önerilebilecek önlemler konusunda kıyaslama metodunun sonuçları ciddi katkılar sağlayacaktır.

2.12.4 Tasarımın Gözden Geçirilmesi

Tasarımın gözden geçirilmesi, tasarımdan sorumlu olan ekibin dışında diğer bölümlerden de katılımcılar ile o ana kadar yapılmış olan tasarım çalışmalarının objektif olarak eleştirilmesidir. Bu nedenle HTEA' inde olduğu gibi çapraz fonksiyonlu bir yapısı vardır. Genellikle sürecin belirli aşamalarında gerçekleştirilen toplantılar ile yürütülür.

Tasarım gözden geçirmenin sağladığı en temel yararlar;

- Tasarım sürecinin proje zaman planına uyumunun irdelenmesi ve darboğazların ortaya çıkarılması
- Tasarım ile ilgili olarak farklı bölümlerden gelen görüş ve önerilerin erken aşamalarda formal olarak değerlendirilmesi
- Tasarımın gidişatı ile müşteri talep ve beklentilerinin örtüşme boyutunun sorgulanması
- Bölümler arası iletişimin artırılmasıdır.

Tasarım gözden geçirme metodu aşağıdaki akış içerisinde gerçekleştirilmeye çalışılır;

- Gözden geçirme ekibi belirlenir
- Projenin zaman planı, müşteri talep ve beklentileri konusunda ekip üyeleri bilgilendirilir
- Gözden geçirme takvimi belirlenir
- Ekip bir ajanda doğrultusunda çalışmalarını yürütür. Gözden geçirilmesi gereken maddeler en azından aşağıda belirtilenleri kapsamalıdır.
 - Zaman planına uyum
 - Müşteri talep ve beklentilerine uyum
 - Maliyet
 - Üretilebilirlik/montaj edilebilirlik/servis edilebilirlik
 - Olası riskler

- Kaynakların kullanım durumu ve ihtiyaçlar
- Yasa/yönetmeliklere uyum
- Acil durum planları

Tasarım gözden geçirmeler, HTEA’nde mevcut kontroller kolonunda yer alan kontrol yöntemlerinden birisi olabilir. Ayrıca tasarım gözden geçirme toplantılarında ortaya atılan görüşler, analiz standart formunun “Önerilen Aksiyonlar” kolonuna anlamlı girdiler sağlayacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TASARIM ve PROSES HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ

3.1. Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi

3.1.1. Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Girdileri

Tasarım HTEA, tasarımdan beklentilerin ne olduğunun sorgulanması ve bununla ilgili bir listenin hazırlanması ile başlar. Müşteri beklentileri ve gereksinimlerinin bu listenin ana hatlarını çizmesi gerekir. Başka bir deyişle; “müşterinin sesi” detaylı olarak analiz edilmeli ve somut girdilere dönüştürülmelidir. Bunun amaçla; pazar araştırmaları, müşteriler ile görüşme raporları, benzer ürünler ile ilgili müşteri şikayetleri/önerileri, garanti raporları detaylı olarak analiz edilir. Eğer olabilirse; analiz aşamasında Kalite Fonksiyon Göçerimi gibi ileri teknikler kullanılarak, müşterinin sesi elle tutulabilir ve ölçülebilir tasarım hedeflerine dönüştürülmelidir.

Yukarıda belirtilenlere ek olarak; benzer ürünler için iç müşterilerden gelen şikayet ve öneriler, düzeltici ve önleyici aksiyon raporları, kalite raporları, rakip firmaların benzer ürünlerine ait kıyaslama raporları, tasarım doğrulama kriterleri, ürün varsayımları, kalite ve güvenilirlik hedefleri de, eğer mevcut ise; Tasarım HTEA girdisi olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca yine benzer ürünlere ait geçmiş HTEA dokümanlarının incelenmesi de analize başlamadan önce yapılacak çalışmalar arasında önemli adımlardan birisidir.

Ford Motor Company tarafından yayınlanan FMEA Handbook’un 2004 yılına ait son versiyonu robustluk bağlantısını da içermektedir. Bu uygulama ile Tasarım HTEA içerisine; “Sınır Diyagramı (Boundary Diagram)”, “P-Diyagramı (Parameter Diagram)” ve “Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi (Reliability and Robustness Checklist)” gibi kavramlar eklemiştir. Sözü edilen kavramlar, analiz için yeni olduklarından kısa açıklanmalar vermek yararlı olacaktır. Bu kavramlardan ilk ikisi olan Sınır Diyagramı ve

P-Diyagramı'na girdi pozisyonunda oldukları için bu bölümde, Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi'ne ise, Tasarım HTEA Çıktıları alt başlığı içerisinde değinilecektir.

Sınır Diyagramı: Analize konu sistem/alt sistemin kendi bileşenlerinin birbiriyle olan ilişkilerinin yanında, komşu sistem/alt sistemler ile olan ilişkilerini de gösteren bir grafik gösterimdir. Özellikle karmaşık sistemlerin yönetilebilir bir düzeye getirilmesi için kullanılır. P-Diyagramına girdi sağlar. Tamamlandığı veya güncellendiği zaman ilgili HTEA'nin ekine konulmalıdır.

Sınır Diyagramı hazırlanırken ilgilenilen en üst seviyeden (sistem veya alt sistem) başlanarak alt detaylar belirlenir ve tüm elemanlar bir blok içerisinde tanımlanır. Çevre sistem/alt sistemler ile güç/tork/enerji/sinyal v.s. gibi akışlar, aynı zamanda dış çevre ile ilişkiler canlandırılmalı ve analiz sınırı kesikli çizgiler ile vurgulanarak odak noktası bir kutu içerisine alınmalıdır.

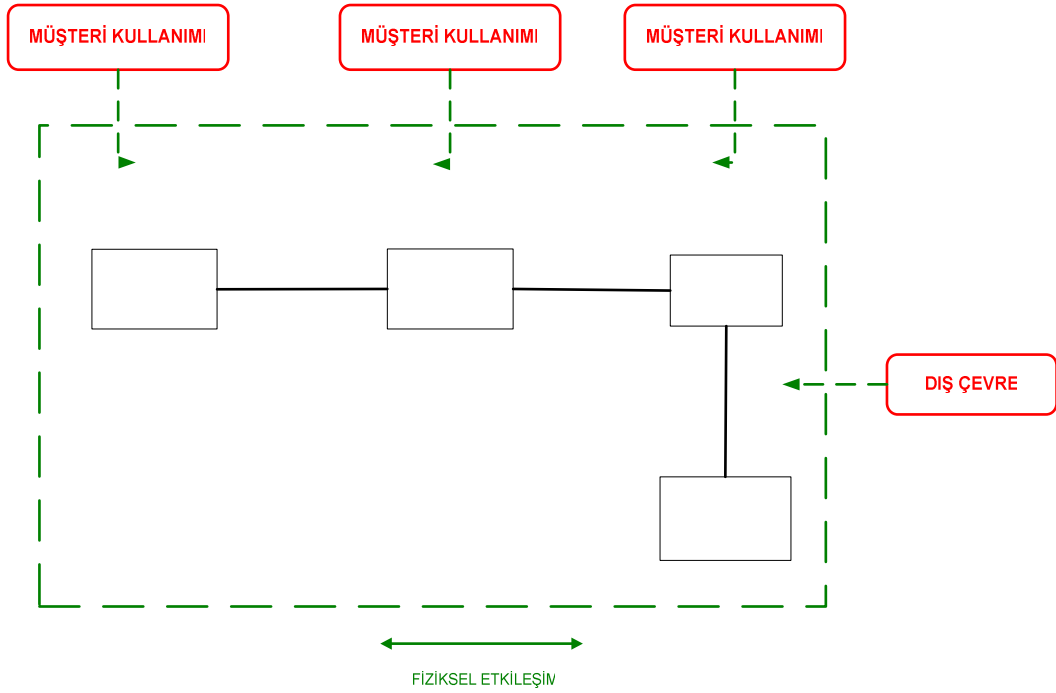
Tasarım sürecinin başlangıcında sınır diyagramı yalnızca sistem düzeyindeki etkileşimleri gösteren birkaç bloktan ibaret olabilir. Ancak süreç ilerledikçe ve tasarım olgunlaştıkça sınır diyagramları güncellenmeli, bileşen detayına kadar olan alt seviyeleri canlandırmak adına ilave diyagramlar hazırlanmalıdır. Büyük sistemlerde bileşen düzeyine ulaşmak için 3–4 seviyelik sınır diyagramlarının hazırlanması gerekebilir.

Tasarım HTEA'nin başlangıç noktası sınır diyagramı olmalıdır. Çünkü bu diyagram yardımı ile analizin kapsamı tüm ekip için net olarak görselleştirilebilecek ve ekibin kapsamdan uzaklaşması engellenebilecektir. Şekil 3.1'de boş bir sınır diyagramı örneği verilmektedir.

P-Diyagramı: Bir fonksiyon için girdilerin (sinyal faktörleri) ve çıktılarının (ideal fonksiyonlar) tanımlanması için önerilen yapısal bir araçtır. Bu diyagramın temelinde, belirli bir fonksiyon için ancak girdi ve çıktılar tanımlandıktan sonra hata türlerinin

tanımlanabileceği yaklaşımı yatar. Hata türleri tanımlandıktan sonra bunlara öncülük edecek olan değişkenler listelenir. Son olarak da, bu değişkenlikleri karşılayacak olan kontrol faktörleri belirlenir.

SINIR DİYAGRAMI



Şekil 3.1: Sınır Diyagramı - Örnek

Süreçlerdeki risklerin, genellikle girdilerdeki değişkenliklerden kaynaklandığı kabul edilmektedir. Bu değişkenlikler; süreçlerin doğasından kaynaklanan genel değişkenlikler olabileceği gibi, beklenmeyen etkilerden kaynaklanan özel değişkenlikler de olabilir. Genel değişkenlikler tüm sistemi etkisi altına alırken, özel değişkenlikler ise sadece sınırlı bir grubu etkiler. Özel değişkenlikler sistemin ideal fonksiyonunu

etkileyen, hataya neden olan, kontrolü pahalı, zor veya olanaksız olan parametrelerdir. Bu değişkenlikler, yaygın olarak gürültü faktörleri olarak adlandırılmaktadır.

Beş temel gürültü kaynağına göre, gürültü faktörleri aşağıdaki gibi listelenebilir.

1. Parçadan parçaya değişkenlik
2. Zaman içerisinde oluşan değişiklikler
3. Müşterinin kullanımı ve çalışma çevrimi
4. Dış çevre
5. Sistem etkileşimleri (İç çevre)

Kontrol faktörleri, ilgilenilen alt sistem veya detay parçanın fonksiyonlarını daha robust yapan parametrelerdir. Bu parametrelerin nominal değerleri ise, gürültü faktörlerinden farklı olarak uygun maliyetler ile ayarlanabilir niteliktedir.

P-Diyagramı yaklaşımında hatalar iki ana kategori altında toplanabilir;

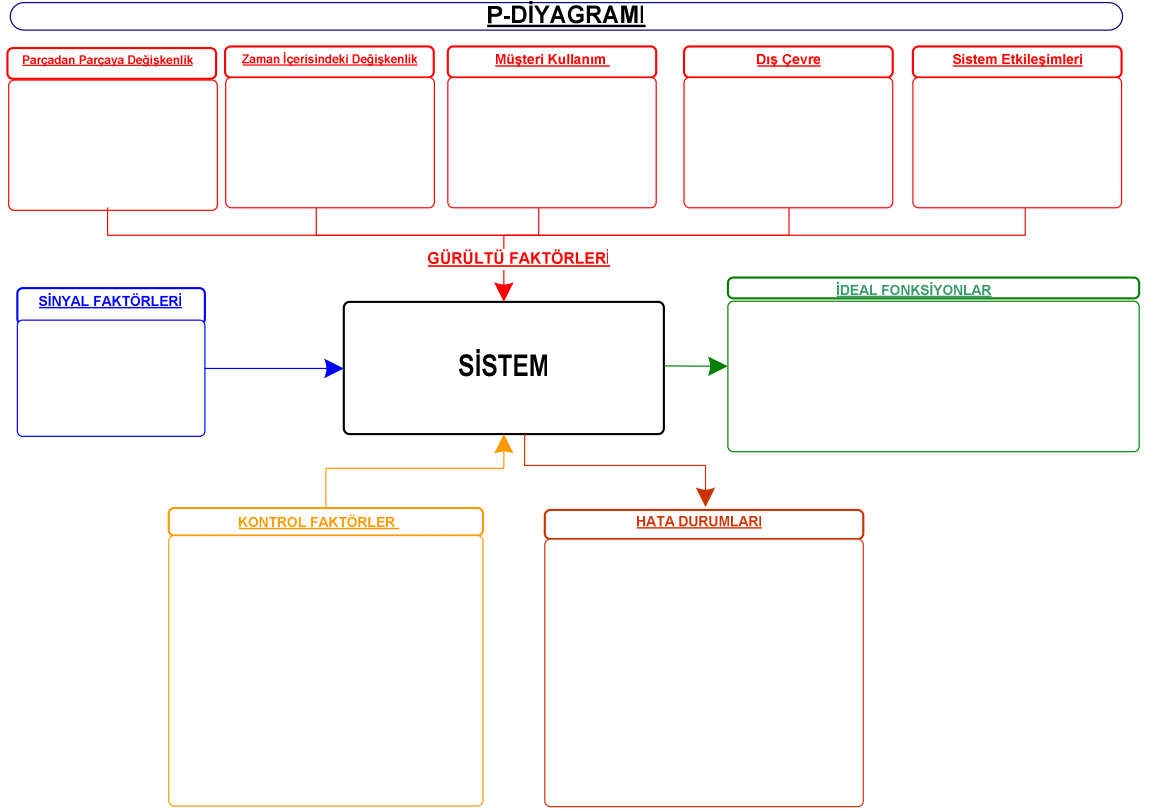
1. İstenen fonksiyondan sapma: Hata Türü ve Etkileri Analizi'ndeki hata türlerine denktir. (Fonksiyonu yerine getirememe, kısmi fonksiyon, kesintili fonksiyon ve arzu edilmeyen fonksiyon gibi)
2. İstenmeyen sistem çıktısı (motor titreşimi gibi)

P- Diyagramının mantığı; girdi sinyalinin %100'ünün ideal fonksiyona dönüştürülmesi gerektiği temeline dayanmaktadır.

$$(\text{Sinyal} / \text{Gürültü Faktörü}) = (\text{İdeal Fonksiyon} / \text{Hata})$$

Teorik olarak bir sistem ancak, uygulanan enerjinin (sinyal) tümünün çıktı enerjisine dönüştürülmesi sonucunda ideal fonksiyonuna ulaşır. Ancak pratikte olaylar bu şekilde gerçekleşmez. Tüm sistemler girdi enerjisinin dönüşümünde %100'ün altında

bir verime sahiptir. İşte aradaki bu kayıp, istenmeyen fonksiyonlar veya hataların yaratılmasına gider. Şekil 3.2’de boş bir P-Diyagramı örneği verilmiştir.

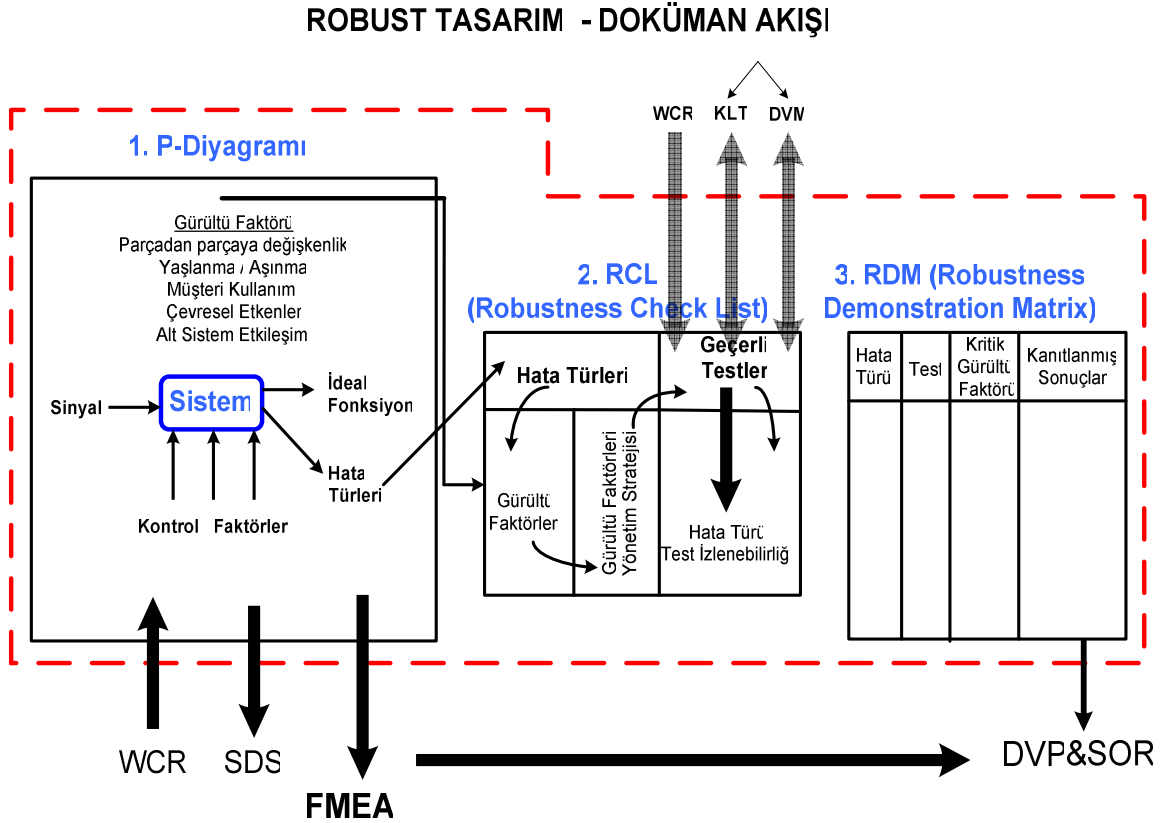


Şekil 3.2: P-Diyagramı – Örnek

P-Diyagramı'nın amacı; tasarım girdileri ideal fonksiyonlara dönüştürülürken ortaya çıkabilecek kontrol faktörleri, gürültü faktörleri ve hataların belirlenmesidir. Bu nedenle sözü edilen karakteristiklerin üzerinde beyin fırtınası yapılarak dokümanite edilebilmeleri açısından bu diyagramlar çok yararlı araçlardır. P-Diyagramları hazırlanmasının sağlayacağı en temel yarar ise; objektif metrikler açısından ideal sistem/alt sistem fonksiyonunun çok iyi tanımlanarak anlaşılabilir hale getirilmesidir.

P-Diyagramı üzerindeki kutular, Tasarım HTEA formunun belirli kolonlarına çıktı verir. Örneğin; çıktı kutuları; fonksiyon, hata durumları; olası hata türleri, kontrol faktörleri; mevcut tasarım kontrolleri ve gürültü faktörleri de; hata bazında nedenler kolonları hazırlanırken dikkate alınmalıdır.

Sınır Diyagramı, P-Diyagramı ve Robustluk ve Güvenilirlik Diyagramı arasındaki ilişki başka bir deyişle robust tasarım doküman akışı Şekil 3.3'de tanımlanmıştır.



Şekil 3.3: Robust Tasarım Doküman Akışı

3.1.2. Tasarım HTEA – Uygulama Formu

Hata Türü ve Etkileri Analizleri genel olarak standart bir şekilde yapılır ve özel bir form üzerinden yürütülür. Şekil 3.4’te bir Tasarım HTEA uygulama form örneği verilmiştir. HTEA formları her analiz türü için çok küçük farklılıklar gösterirler. Söz konusu formların kullanımı analizini kolay izlenebilir ve sürdürülebilir olmasını kolaylaştıracağı gibi sunuma bir standardizasyon da getirmektedir.

Tipik bir Tasarım HTEA formunun başlığı içerisinde aşağıdaki maddeler bulunmalıdır.

1. Sistem/Alt Sistem/Bileşen Adı ve Numarası: Analizini yapıldığı seviyeyi gösterir, sistemin/alt sistemin ya da bileşenin adı ve numarası yazılır. Bir sistem, çeşitli alt sistemlerden oluşabilir. Bir araç için sistemlere örnek olarak; aktarma organları sistemi, şasi sistemi, elektrik sistemi verilebilir. Alt sistemlere örnek ise; kardan mili ve ön/arka süspansiyon olabilir. Bileşenler ise alt sistem içerisindeki detaylardır. Örneğin; elastik kaplin ve amortisör gibi.

2. Model Yılı/Araç Programı (Biliniyorsa): Analizden etkilenecek olan aracın modeli yıl(ları) ve program(lar) yazılır.

3. Çekirdek Ekip: Ekip üyelerinin ad soyadları ve sorumlulukları yazılır.

4. Tasarım Sorumluluğu: Ürün tasarımından sorumlu olan organizasyonun (ana sanayi firması ve/veya tedarikçi firma) unvanı yazılır.

5. Anahtar Tarih: Proje planı içerisinde HTEA’nin uyması gereken ilk mihenk tarihi yazılır.

6. HTEA Numarası: HTEA doküman numarası yazılır.

7. Hazırlayan: HTEA’ni hazırlamaktan sorumlu kişinin adı ve soyadı yazılır.

8. HTEA Tarihi: Orijinal HTEA hazırlanma tarihi ve son revizyon tarihi yazılır.



System _____
 Subsystem _____
 Component _____
 Model Year(s)/Program(s): _____
 Core Team: _____

**POTENTIAL
 FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS
 DESIGN FMEA**

FMEA Number: _____
 Page _____ of _____
 Prepared By: _____
 FMEA Date: (Orig.) _____ (Rev.) _____

Design Responsibility: _____
 Key Date: _____

Item	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	S e v e r i t y	C i s s	P o t e n t i a l C a u s e s/ M e c h a n i s m s (o f F a i l u r e	O c c u r r e n c e		D e t e c t i o n	D i s c o n t r o l	R e c o m m e n d e d A c t i o n (s	R e s p o n s i b i l i t y A s s i g n e d C o m p l e t i o n D a t e	A c t i o n s T a k e n	S e v e r i t y	D i s c o n t r o l
							P r e v e n t i o n	D e t e c t i o n							

Şekil 3.4: Tasarım HTEA Uygulama Formu - Örnek

3.1.2.1. Tasarım HTEA – Fonksiyon

Fonksiyonlar; bir ürünün müşteri istek ve beklentilerini karşılamak için yapması gerekenlerdir. Fonksiyonlar birincil(temel) ve ikincil(destek) fonksiyonlar olarak iki ana gruba ayrılabilir. Birincil fonksiyonlar ürünün var olmasının nedenlerini ortaya koyan temel fonksiyonlardır. İkincil fonksiyonlar ise ürünün varlığı nedeniyle sağlayacağı diğer fonksiyonlardır. Genellikle, ürünü geliştiren ve değerini arttıran fonksiyonlar bu gruba girer. Ancak bu durum, onların daha az önemli olduğu anlamına gelmez. Fonksiyonlar; ölçülebilir terimler ile tanımlanmalıdır.

3.1.2.2. Tasarım HTEA – Hata Türü

Hata türü için literatürde farklı tanımlamalar yapılmıştır. Otomotiv Endüstrisi Aksiyon Grubu'na göre hata türü; bir ürün veya prosesin arzu edilen fonksiyonunu yerine getirememesi şeklindedir. Bazı kaynaklar hata türünü, olayların istenmeyen bir neden-etki zinciri olarak tanımlar (MIL-STD-1629A, 1994). Stamatis'e göre ise hata türü, neden-etki zinciri içerisinde bir halkadır (Stamatis, 1995).

Hata türleri 4 temel kategoriye ayrılabilir;

1. Fonksiyonu Yerine Getirememesi: Sistem veya tasarımın tamamen fonksiyonel olmaması veya çalışmamasıdır.

2. Kısmi/Zamanla Azalan Fonksiyon: Bazı fonksiyon gereksinimlerinin yerine getirilmesi ama tümünün karşılanamaması durumudur. Bu kategori özellikle zaman içerisindeki fonksiyon kayıplarını içerir.

3. Kesintili Fonksiyon: Fonksiyonların karşılanması ancak sıcaklık, nem, çevre gibi dış etkenlere bağlı olarak bazen çalışmama veya fonksiyon kaybına uğrama durumudur. Bu hata kategorisinde; sistem belirli bir süre eksiksiz çalışır, daha sonra çalışmaz, sonra tekrar çalışır. Yani çalışma/durma/tekrar çalışma gibi bir sıra olay söz konusu olabilir.

4. Arzu Edilmeyen Fonksiyon: Sistem içerisindeki bileşenler arasında bir etkileşim söz konusudur. Bu bileşenler tek tek incelendiğinde, bağımsız performansları uygun olabilir. Ancak sistem etkileşimleri müşteri tarafından arzu edilmeyen bir fonksiyonu başlatabilir.

Hata türleri listelenirken, Tasarım HTEA girdileri referans alınarak olabildiğince uzun bir liste hazırlanmalıdır. Eğer ürün tamamen yeni bir ürün ise; bu aşamada HTEA ekibinin deneyimi ve konuya yakınlığı önemli rol oynar. Belirli bir parçanın her bir fonksiyonu için hata türleri listelenir. Hatanın mutlaka gerçekleşmiş olması gerekmez, çok düşük de olsa, gerçekleşme olasılığının olması değerlendirilmeye alınması için yeterlidir.

Analiz ekibi, olası hata türlerini belirlemeye çalışırken aşağıdaki sorular üzerinden gidebilir;

- Tasarım, arzu edilen fonksiyonunu yerine getirirken hangi şekillerde hata verebilir?
- Ne yanlış gidebilir?
- Fonksiyon test edilirken hata türü nasıl farkına varılabilir?
- Tasarım nerede, nasıl ve hangi çevresel koşullar altında çalışacak?
- Tasarım bir üst seviye montajlı komplelerde kullanılacak mı?
- Tasarım diğer sistemler ile nasıl etkileşime girecek?

Tipik hata türlerine örnek olarak; deforme olma, çatlama, kırılma, tork/güç aktaramama, sızıntı, kısa devre yapma, gevşeme, yapışmama ve paslanma verilebilir.

Eğer hatalar tasarım sürecinin ilk aşamalarında tanımlanabilirse; tasarım değişikliği için gereken maliyet minimum düzeyde tutulurken, güvenilirlik üzerine etkisi de çok tatmin edici olabilir (Bednarz ve Marriott, 1988; 416-421).

3.1.2.3. Tasarım HTEA – Hata Etkileri

Hata meydana geldiğinde müşteri üzerinde yaratacağı veya müşterinin algılayacağı etkiler bu başlık altında değerlendirilir. Bu amaçla, hata meydana geldiğinde, müşterinin neyi fark edebileceği veya başına nelerin gelebileceği sorgulanır. Hata etkileri, daima müşterinin dikkat edeceği veya karşılaşacağı ürün performansları açısından tanımlanmalıdır. Eğer hata sonucunda ürün emniyeti veya yasa/yönetmeliklere uyumsuzluk gibi bir etki doğabilecek ise, bunun çok açık bir dille belirtilmesi gerekir. Hatanın olası etkileri irdelenirken, bileşen/alt sistem ve sistem arasındaki hiyerarşik ilişki unutulmamalıdır. Örneğin bir bileşenin kırılması montajlı komplemin titreşimli çalışmasına ve bunun sonucunda da kesikli sistem çalışmasına neden olabilir. Kesikli sistem çalışması ise; en son noktada müşteri memnuniyetsizliği doğuracaktır.

Eğer hata sonucunda ürün emniyeti veya yasa/yönetmeliklere uyumsuzluk gibi bir etki olabilecek ise, bunun çok açık bir dille belirtilmesi gerekir. Hatanın olası etkileri irdelenirken; bileşen/alt sistem ve sistem arasında mevcut olan hiyerarşik ilişki unutulmamalıdır. Örneğin bir bileşenin kırılması montajlı komplemin titreşimli çalışmasına ve bunun sonucunda da kesikli sistem çalışmasına neden olabilir. Kesikli sistem çalışması ise; en son noktada müşteri memnuniyetsizliği doğuracaktır.

Hata etkileri belirlenmeye çalışılırken; eğer bir hata türü oluşursa, bu hata türünün;

- Alt sistem/bileşenler ve üst sistem
- Komple sistem

- Müşteri(ler)
- Yasa/yönetmelik(ler) açısından etkileri belirlenmelidir.

Bu amaçla, hata etkileri belirlenmeye çalışılırken ekip eğer bir hata türü oluşması durumunda aşağıdaki soruların yanıtlarının ne olacağını bulmaya çalışır.

- Ürünün alt sistem/bileşenlerinin operasyon, fonksiyon veya durumları nasıl etkilenir?
- Ürünün üst komplelerinin operasyon, fonksiyon veya durumları nasıl etkilenir?
- Sistemin operasyon, fonksiyon veya durumu nasıl etkilenir?
- Aracın operasyon, sürüş ve emniyeti nasıl etkilenir?
- Müşteri neleri görebilir, hissedebilir veya yaşayabilir?
- Yasa/yönetmeliklere ne tür uygunsuz etkiler oluşabilir?

Bir hata etkisine, yalnızca bir hata türü neden olabileceği gibi bu sayı birden fazla da olabilir. Ayrıca bir hata etkisi; bir üst seviyeye veya en üst sisteme etki edebilir. Bu nedenle her seviyedeki hataların etkisi bir üst seviyede değerlendirilmelidir (BS 5760, 1991). Bu aşamada P-Diyagramı üzerindeki hata durumları, analiz formu üzerindeki “Etkiler” kolonuna eklenmelidir. Ancak diyagram içerisinde belirtilen hata durumları etkiler için yeteri kadar kapsamlı olmayabilir.

Tipik hata etkilerine örnek olarak; gürültü, vibrasyon, kötü görüntü, dengesizlik, pürüzlülük ve hoş olmayan koku verilebilir.

3.1.2.4. Tasarım HTEA – Şiddet

Şiddet, potansiyel hata türünün müşteriye olan etkisinin ciddiyetinin (önem ve tehlikesinin) değerlendirilmesidir. Yalnızca etkiye bağlı olarak değerlendirilir. HTEA ekibi, Tablo 3.1’de verilen Tasarım HTEA Şiddet Değerlendirme Tablosu’nu kullanarak, hata türlerinin şiddet puanları konusunda bir anlaşmaya varır. Hatanın öneminin değerlendirilmesinde, söz konusu hatanın müşteri üzerindeki etkisi esas alındığından, belirli bir hatanın bütün olası nedenlerine aynı şiddet değeri verilmelidir. Şiddet değeri ancak ürün tasarımında alınacak önlemlerle değiştirilebilir.

Şiddet kolonuna en ciddi etkiyi yaratacak olan duruma ait olan değer girilmelidir. Bu nedenle her bir hata türü için yalnızca tek bir şiddet değeri olmalıdır.

Ürün ve proses üzerinde özel karakteristik olarak tanımlanan karakteristiklerin özel olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için bazı spesifik aksiyonlar ile tüm mühendislik spesifikasyonlarının karşılandığı garanti altına alınmalıdır. Tasarım HTEA çalışmaları sırasında; olasılık ve keşfedilebilirlik puanı ne olursa olsun, şiddet puanı 9/10 olan veya şiddet puanı 5–8 arasında iken olasılık puanları 4 ve üzeri olan tüm hata türlerine ekip özel ilgi göstermelidir. Ürünün ana fonksiyonu ile ilişkili olan hata türlerinde şiddet değerinin mutlaka 8 veya üzerinde verilmesi gerekir. Tasarım HTEA, olası özel karakteristikleri belirtirken, Proses HTEA konu karakteristiklerin gerçekten özel karakteristik olup olmadığını teyit ederek son halini verir.

3.1.2.5. Tasarım HTEA – Hata Nedenleri

Hataların potansiyel nedenleri, sonuçta hata türlerine neden olacak, tasarım zayıflıklarının birer göstergesi olarak tanımlanır. Her bir hata türüne neden olabilecek bütün olası nedenler liste halinde sıralanmalıdır. Listeye alınan nedenler olabildiğince

Tablo 3.1: Tasarım HTEA Şiddet Değerlendirme Tablosu

ETKİ	ETKİNİN ŞİDDETİ (Müşteri Etkisi)	DEĞERLENDİRME
Felaket / Tehlike (Uyarısız)	Olası hata türü uyarısız olarak araç güvenliğini etkilediğinde ve/veya yasal mevzuatlara uygunsuzluk olduğunda çok yüksek şiddet sıralaması alır	10
Felaket / Tehlike (Uyarılı)	Olası hata türü uyarılı olarak araç güvenliğini etkilediğinde ve/veya yasal mevzuatlara uygunsuzluk olduğunda çok yüksek şiddet sıralaması alır	9
Çok Yüksek	Araç / ürün çalışmaz. (Birincil fonksiyon kaybı)	8
Yüksek	Araç / ürün düşük seviyeli performans ile çalışır. Müşteri memnuniyetsizliği yüksek.	7
Orta	Araç / ürün çalışıyor ancak rahatlık ve uygunluk kriterlerinden uzak. Müşteri memnuniyetsiz.	6
Düşük	Araç / ürün çalışıyor ancak konfor ve uygunluk kriterlerden uzak azalan bir performansa sahip. Müşteri oldukça memnuniyetsiz.	5
Çok Düşük	Uygunluk, bitmiş özellikler, gıcırta ve tıkırtı özellikleri uygun değil. Hata neredeyse tüm müşteriler (%75'den daha fazla) tarafından fark edilebilmektedir.	4
Önemsiz	Uygunluk, bitmiş özellikler, gıcırta ve tıkırtı özellikleri uygun değil. Hata müşterilerin %50'si tarafından fark edilebilmektedir.	3
Çok Önemsiz	Uygunluk, bitmiş özellikler, gıcırta ve tıkırtı özellikleri uygun değil. Hata hassas müşteriler tarafından (%25'inden azı) fark edilebilmektedir.	2
Hiç	Fark edilebilir bir etki yok.	1

kısa/özlü ve tam olmalıdır ki, düzeltici yönde harcanacak çabalar verimli olabilsin. Nedenler hataları yaratır, hatalar da müşteri üzerine olan etkileri (sonuçları) doğurur.

Her bir hata türü için olası nedenler araştırılırken aşağıdaki sorulara yanıt aranır;

- Ürünün fonksiyonunu yerine getirmesine hangi koşullar engel olabilir?
- Ürün hangi koşullar altında mühendislik spesifikasyonlarının gereklerini karşılayamaz?
- Ürün hangi koşullar altında diğer sistemler ile uyumlu olamaz?
- P-Diyagramı içerisinde geliştirilen hangi bilgiler olası nedenleri tanımlayabilir?

Tipik hata nedenlerine örnek olarak; yanlış malzeme seçimi, yetersiz tasarım ömrü tahmini, yetersiz yağlama, yetersiz bakım talimatları, eksik/yanlış yüzey koruma yönteminin belirlenmesi, yanlış algoritma ve uygun olmayan toleranslandırma verilebilir. Bunların sonucunda oluşabilecek tipik hata mekanizmaları ise; akma, yorulma, aşınma, korozyon olarak sıralanabilir.

Tasarım HTEA, tasarımdaki olası zayıflıkları gidermek için proses kontrollerine dayanmaz ancak, üretim ve montaj proseslerindeki teknik ve fiziksel sınırlamaları da örneğin; üretim toleransları, üretim/montaj proses yetenekleri, montaj yapılabilmesi için gereken alan gibi göz önüne alınmalıdır.

Amaçlardan birisi; üretim veya montaj prosesinde değişkenliklere neden olabilecek tasarım yetersizliklerinin belirlenmesidir. HTEA ekibinin çapraz fonksiyonlu yapısı nedeniyle direkt olarak tasarım yetersizliklerinden kaynaklanmayacak olan değişkenlikler ayırt edilebilir. Bu tip değişkenlikler Proses HTEA sırasında incelenmelidir. Bir diğer amaç ise; tasarımın robustluğunu belirleyen karakteristiklerin geliştirilmesidir. Çünkü robust bir tasarım proses değişkenliklerini kompanse edebilir.

3.1.2.6. Tasarım HTEA – Olasılık

Nedenin ve onun yarattığı hatanın beraberce meydana gelme olasılığıdır. Bir tasarım değişikliğiyle hata türünün bir veya birkaç nedeninin ortadan kaldırılması veya kontrol altına alınması, olasılık değerini azaltmanın bir yoludur.

Her bir hata türü için olası nedenler araştırılırken aşağıdaki sorulara verilecek olan yanıtlar göz önünde bulundurulur.

- Benzer bileşen/alt sistem ve sistemlerin servis ve saha deneyimleri nedir?
- Analize konu olan tasarım mevcut bir tasarımın benzeri midir?
- Eğer benzeri ise; bir önceki tasarımdan farklılıkları nelerdir?
- Eğer benzeri değil ise; bir önceki tasarımdan radikal farklılıkları nelerdir?
- Tasarımın uygulama şekli değiştirilmiş midir?
- Çevresel değişiklikler nelerdir?
- Güvenilirlik gibi bir mühendislik analizi, uygulama için beklenen olasılık puanlarının öngörülebilmesi açısından kullanılmış mıdır?
- Önleyici kontroller uygulanmakta mıdır?

Hatanın oluşma nedeninin olasılığı değerlendirilirken yukarıda sıralanan bütün soruların doğru cevaplandırılmış ve bütün kontrol önlemlerinin de tam olarak yerine getirilmiş olduğu varsayılmalıdır. Tasarım HTEA Olasılık Değerlendirme Tablosu, Tablo3.2’de verilmektedir.

Olasılık puanını; tasarım ve proses değişiklikleri düşürebilir. Özellikle deney tasarımı kullanılarak proses yeteneklerinin artırılması ve hata önleme tekniklerinin uygulamaya alınmasının olumlu katkıları olacaktır.

3.1.2.7. Tasarım HTEA – Mevcut Tasarım Kontrolleri

Tasarım kontrolleri; ürün hatalarının müşteriye giderek bir zarar vermemesi için uygulanan yöntemlerdir. Bunların arasında tasarım doğrulama ve geçerli kılma amacı ile yapılan laboratuvar testleri ve araç testleri önemli bir yer tutar. Ayrıca sanal ortamda yapılan analizler ve simülasyonlar, analitik hesaplamalar, mühendislik talimatları ve tasarım gözden geçirmeler de temel tasarım kontrolleri arasında sayılabilir.

Tablo 3.2: Tasarım HTEA Olasılık Değerlendirme Tablosu

HATANIN ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI	ORTAYA ÇIKMA SIKLIĞI	DEĞERLENDİRME
Uzak: Başarısızlık çok uzak	\leq Bin üründe 0,010	1
Düşük: Oldukça seyrek başarısızlık	Bin üründe 0,1	2
	Bin üründe 0,5	3
Orta: Ara sıra olan başarısızlıklar	Bin üründe 1	4
	Bin üründe 2	5
	Bin üründe 5	6
Yüksek: Tekrar eden başarısızlıklar	Bin üründe 10	7
	Bin üründe 20	8
Çok Yüksek: Başarısızlık kaçınılmaz	Bin üründe 50	9
	Bin üründe 100 \geq	10

Nedenlerin oluşumunu ve hata türünü önlemek veya ortaya çıkarmak için uygulanacak bütün kontroller listelenmelidir. Bu kontroller; daha önce aynı veya benzer parçalar üzerinde uygulanmış veya uygulanmakta olan kontroller de olabilir. Başlangıç aşamasında, olasılık ve keşfedilebilirlik kullanılacak prototipler göz önüne alınarak, bu kontrollere dayandırılacaktır. Listelenen kontroller, doğrudan doğruya hatanın nedenlerini önlemeye veya ortadan kaldırmaya yönelik olmalıdır.

”Mevcut Tasarım Kontrolleri” sütununda; planlanan kontroller gösterilmeyecektir. Eğer daha ileri kontroller uygulanacaksa “Önerilen Aksiyonlar” kolonuna yazılmalı ve mühendislik dokümanlarına eklenmelidir.

Tasarım kontrolleri iki farklı tipte olabilir;

1. Önleyici kontroller: Hata nedeninin/mekanizmasının veya hata türü/etkisinin ortaya çıkmasını engelleyen veya olasılığını azaltan kontrollerdir.

2. Keşfedici kontroller: Hata nedeninin/mekanizmasını veya hata türü/etkisini keşfeden kontrollerdir. Genellikle seri üretim yayınından önce kullanılan analitik ve fiziksel yöntemler bu grup içerisinde değerlendirilir.

Önerilen yaklaşım; eğer olabılırsa, 1.tip (önleyici) kontrollerin uygulanmasıdır. İlk olasılık puanlandırması, tasarım hedefinin bir parçası olarak entegre edilmiş olan önleyici kontrollerden etkilenecektir. İlk keşfedilebilirlik puanlandırması ise; hata nedeni/mekanizması veya hata türünü keşfetmeye dönük 2.tip tasarım kontrollerine dayandırılacaktır.

Bütün bunlar değerlendirilirken, laboratuvar testlerinin %100 güvenilir olamayabileceği, kalibrasyon sisteminin yetersiz olabileceği, müşterinin gerçek kullanım

koşullarına benzeşim zorluğu ve ürünü tam olarak temsil edebilen prototiplerin üretilip üretilmediği de göz ardı edilmemelidir.

Tasarım kontrollerinin belirlenmesi için aşağıdaki adımlar izlenebilir;

1. Listelenen hata türlerini ortaya çıkarmak için kullanılacak olan tüm geçmiş kontrol yöntemleri belirlenir. Bu aşamada referans olarak; geçmiş HTEA, tasarım doğrulama planları ve güvenilirlik ve robustluk kontrol listelerinin yanı sıra, daha önceki problem çözme uygulamalarında kök nedenin ortadan kaldırılması için kullanılmış olan kontrol yöntemleri de referans alınır.

2. Belirlenmiş olan yöntemler listelenir.

3. Olası diğer yöntemler aşağıdaki sorular ışığında ortaya çıkarılmaya çalışılır.

- Hangi şekilde bu hata türünün nedeni farkına varılabilir?
- Bu nedenin ortaya çıktığı nasıl keşfedilebilir?
- Hangi şekilde bu hata türü farkına varılabilir?
- Bu hata türünün ortaya çıktığı nasıl keşfedilebilir?

Hata türlerinin nedenlerini ortadan kaldırmak veya azaltmak için kullanılan kontrol yöntemleri; aynı zamanda nedenin oluşma olasılığını da etkileyebilir. Eğer böyle bir durum mevcut ise; söz konusu kontrol yöntemleri olasılık puanlandırması yapılırken gözönüne alınmalıdır.

Bazı formlarda “Mevcut Tasarım Kontrolleri” kolonu; önleyici ve keşfedici olarak ikiye ayrılmıştır. Eğer kolon ikiye ayrılmamış ise; aynı kolona yazılan kontrollerin sonuna Önleyici (Ö) veya Keşfedici (K) gibi uzantılar konularak iki tip kontrol birbirinden ayrılabilir.

3.1.2.8. Tasarım HTEA – Keşfedilebilirlik

Keşfedilebilirlik; tasarım kontrolleri kullanılarak, bileşen/alt sistem veya sistemin olası hata türlerinin ortaya çıkarılabilme yeteneğidir. Hata olmuş gibi varsayılarak, geçerli tasarım kontrollerinin hatayı müşteriye gitmeden önce keşfedebilme ölçütleri değerlendirilir.

Keşfedilebilirlik puanlandırması yapılırken, hata türü veya bu hata türünün nedenini keşfetmek için kullanılacak olan kontroller göz önüne alınır. Hata türünün nedenlerini ortadan kaldırmaya veya azaltmaya yönelik olan kontroller, keşfedilebilirlik puanlandırması yapılırken değerlendirilmelidir. Yalnızca seri üretime başlamadan önce kullanılan kontrol yöntemlerinin, keşfedilebilirlik puanlandırması yapılırken kullanılması gerekir.

HTEA ekibi, her bir tasarım kontrol yönteminin etkinliğini öngörmek durumundadır. Tasarım kontrollerinin etkinlik dereceleri aşağıdaki kategori başlıkları altında yüksekten düşüğe doğru listelenmeye çalışılmıştır.

1. Tasarım analiz yöntemleri

- Sonlu elemanlar analizi gibi kanıtlanmış modelleme ve simülasyonlar
- Boyutsal ve geometrik toleranslandırma çalışmaları
- Korozyon, ısıl genleşme gibi malzeme uygunluk çalışmaları
- Tasarım gözden geçirme çalışmaları

2. Test yöntemleri

- Deney tasarımı
- Prototipler veya ön seri üretimler üzerinde yapılan testler

- Benzer parçalar kullanılarak yapılan prototipler
 - Araç seviyesi testler (tasarım geçerli kılma testleri)
3. Test edilmek üzere planlanmış prototip sayıları
 - İstatistiksel olarak geçerli bir prototip sayısı
 - Düşük sayı (istatistiksel olarak tatmin edici değil)
 4. Benzer tasarımlardan kazanılmış olan deneyimler
 5. Tasarım kontrol uygulamasının zamanlaması
 - Tasarım konsept aşamasının başında
 - Prototip üretim aşamasında
 - Mühendislik ve proses tasarım onayının verilmesinden hemen önce

Tasarım zayıflıklarının belirlenmesinde bir sistematik izlenebilmesi için tasarım doğrulama (design validation) programının uygulanması gerekir. Tasarım doğrulama; gözlem, ölçüm, test ve diğer çalışmalar sonucunda elde edilen, gerçek verilere dayalı, doğruluğu kanıtlanmış bilgilerin, belirlenmiş olan istek ve beklentilerin yerine getirilmesi için kullanılmasıdır. Bu doğrulamaların, tasarımın zayıflığını belirleme gücü keşfedilebilirlik puanı ile tanımlanır. Keşfedilebilirlik puanlamasında kullanılacak olan örnek tablo, Tablo 3.3'de verilmektedir. Keşfedilebilirlik puanının değerlendirilmesinde 1 puan; keşfetme güvenilirliğinin %99.95 olduğu anlamına gelir. Uygulamada bu değer yakalanması çok da olası olmadığı için; keşfedilebilirlik puanı olarak 1 verilir iken çok dikkatli olunmalıdır.

Yüksek keşfedilebilirlik puanı, keşfetme yeteneğinin düşük olduğu anlamına gelir. Bu durum bazen yanlış anlaşılmalara neden olmaktadır. Çünkü çoğunlukla keşfedilebilirlik hatanın yakalanma olasılığı olarak algılanmaktadır. Oysa

keşfedilebilirlik puanı ne kadar yüksek olursa, hatanın yakalanma olasılığı ve buna bağlı olarak da risk o kadar yüksek olur.

Tablo 3.3: Tasarım HTEA Keşfedilebilirlik Değerlendirme Tablosu

KEŞFEDİLEBİLİRLİK	KEŞFETME OLASILIĞI	DEĞERLENDİRME
Hemen hemen olanaksız	Kesinlikle keşfedilemez veya hiçbir kontrol yok	10
Çok uzak	Kontroller ile keşfetme olasılığı çok uzak	9
Uzak	Kontroller ile keşfetme olasılığı uzak	8
Çok düşük	Kontroller ile keşfetme olasılığı çok düşük	7
Düşük	Kontroller ile keşfetme olasılığı düşük	6
Orta	Kontroller ile keşfetme olasılığı orta	5
Ortadan yüksek	Kontroller ile keşfetme olasılığı ortanın üzerinde	4
Yüksek	Kontroller ile keşfetme olasılığı yüksek	3
Çok yüksek	Kontroller ile keşfetme olasılığı çok yüksek	2
Nerede ise kesin	Kontroller ile kesin olarak keşfedilebilir	1

Keşfedilebilirlik puanının düşürülebilmesi için mevcut kontrol yöntemlerinin yeteneklerinin artırılması veya yeni kontrol yöntemlerinin devreye alınması gerekir. Bazı durumlarda tasarım değişiklikleri de keşfedilebilirlik puanını düşürebilir.

3.1.2.9. Tasarım HTEA – Risk Öncelik Göstergesi

Risk Öncelik Göstergesi (RÖG); her bir hata türü için belirlenen şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerlerinin çarpılması sonucunda elde edilir. Bu değer hata türlerinin göreceli olarak önemini gösteren bir değerdir. HTEA sonucunda elde edilen RÖG değerlerinin Pareto Analizi ile hangi hata türleri ve bunlara bağlı olan risklerin daha önemli olduğu belirlenebilir. Ardından en yüksek RÖG değerine sahip hata türleri için düzeltici/önleyici aksiyonlar önerilmelidir. Bu aksiyonların amacı; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerlerinden bir ya da birkaçını azaltmaktır.

Tasarım HTEA çalışmaları sırasında; olasılık ve keşfedilebilirlik puanı ne olursa olsun, şiddet puanı 9 ve üzeri olan veya şiddet puanı 5–8 arasında iken olasılık puanları 4 ve üzeri olan tüm hata türlerine özel ilgi göstermelidir.

3.1.2.10. Tasarım HTEA – Önerilen ve Alınan Önlemler

Önerilen aksiyonların RÖG değerini izleyen sırada düşürmeyi hedeflemesi beklenir; önce şiddet, ardından olasılık ve keşfedilebilirlik. Burada amaç riskin azaltılması ve aynı zamanda tasarımın da geliştirilerek müşteri memnuniyetinin artırılmasıdır. Bu; olası hata türlerini ortadan kaldıracak veya azaltacak düzeltici/önleyici aksiyonların belirlenmesi ile olabileceği gibi, tasarımdaki zayıflığın keşfedilmesine yardımcı olacak keşfedici aksiyonların belirlenmesi şeklinde de olabilir. Önerilebilecek önlemler arasında; tasarım geometrisi ve/veya toleransların değiştirilmesi, malzeme ve ısıl işlem spesifikasyonlarının değiştirilmesi, tasarım doğrulama test planı kapsamının genişletilmesi, test karakteristikleri ve kabul kriterlerinin değiştirilmesi, yeni analiz yazılımları ve/veya test cihazlarına yatırım yapılması, mevcutların revizyonu ile deney tasarımı veya bazı ileri problem çözme tekniklerinin uygulanması sayılabilir.

Yalnızca tasarım değişikliği ile şiddet puanı azaltılabilir. Yine, bir tasarım değişikliği ile hata türünün nedenlerinden birinin ya da birkaçının ortadan kaldırılması veya kontrol edilebilir hale getirilmesi ile olasılık puanı azaltılabilir. Tasarım doğrulama/geçerli kılma aksiyonlarının arttırılması yalnızca keşfedilebilirlik puanında bir azalmaya neden olacaktır. Eğer önerilen önlemler, yüksek bir maliyet ve/veya uzun bir devreye alma süreci gerektiriyorsa, birkaç alternatif önerilerek aralarından en uygununun seçilmesi sağlanmalıdır. HTEA ekibi herhangi bir önlem önermiyor ise; “Önerilen Aksiyonlar” kolonuna “Gereksiz” yazılmalıdır.

Her bir aksiyon için sorumlu ve hedef tarihin belirlenmesi gerekir. Aksiyon tamamlandıktan sonra ilgili tarih form üzerine işlenmelidir. İlgili tüm aksiyonların izlenmesi ekip lideri tarafından yürütülür. Bu aksiyonlar tamamlandıktan sonra veya aksiyon sorumlusundan ileriye dönük olarak alınan öngörüler doğrultusunda; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik puanları yeniden belirlenir ve yeni RÖG değerleri hesaplanır.

3.1.3. Tasarım HTEA Çıktıları

Tasarım HTEA'nin belli başlı çıktıları arasında; risklere göre önceliklendirilmiş olası hata türleri (İlgili nedenleri ve etkileri ile beraber), özel karakteristiklerin taslak listesi, ürün tasarım bilgileri, ürün tasarım yazılım ve donanım ihtiyaçları, yeni test yöntemleri ve test kriterleri, mevcut test cihazlarında ve teknik resim/ dokümanlarda revizyon gereksinimi, yeni test cihazı ihtiyaçları, tasarım doğrulama planı kapsamına alınması gereken testlerin listesi ile ürün tasarımı konusundaki olası düzeltici/önleyici aksiyonların listesi ve prototip kontrol planı sayılabilir.

Bu aşamada özel karakteristiklerin tanımının yapılması yararlı olabilir. Özel karakteristikler; hatalı olmaları durumunda, ürün güvenliğini tehlikeye sokacak veya yasa ve yönetmeliklere (fren, direksiyon kontrolü, emisyon, gürültü gibi) uyumsuzluk yaratacak veya fonksiyon/montaj/görünüm gibi konularda önemli müşteri

memnuniyetsizliği yaratabilecek olan karakteristiklerdir. Söz konusu karakteristikler teknik resim ve dokümanlar üzerinde özel semboller kullanılarak gösterilirler.

Bunlara ek olarak, Tasarım HTEA sonunda “Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi (Reliability and Robustness Checklist)” de hazırlanarak analizin bu kavramlar ile olan ilişkisi kurulabilir. Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi; anahtar robustluk niteliklerini özetler ayrıca Tasarım HTEA ve beş gürültü faktörünü de Tasarım Doğrulama Planı ile ilişkilendirir. Söz konusu liste tasarım gözden geçirme çalışmalarında incelenmesi gereken temel dokümanlardan birisidir. Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi’ne ait boş bir örnek Şekil 3.5’de verilmektedir.

Program:
Proje:

IDEAL FONKSİYONLAR			DOĞRULAMA METODLARI							
			HATA DURUM							
			1	2	3	4	5	6	7	8
YARARLI ZAMAN PERİYODU										
G		G								
F		F								
E		E								
D		D								
C		C								
B		B								
A		A								
	Birim	Aralık								
GÜRÜLTÜ 1: Parçadan Parçaya Değişkenlik										
GÜRÜLTÜ 2: Zaman içerisinde Değişkenlik										
GÜRÜLTÜ 3: Müşteri Kullanımı										
GÜRÜLTÜ 4: Dış Çevre										
GÜRÜLTÜ 5: Sistem Etkileşimleri										

Şekil 3.5: Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi – Örnek

TASARIM HTEA KONTROL LİSTESİ						
PARÇA ADI :		HAZIRLANMA TARİHİ :		HAZIRLAYAN :		GERÇEKLEŞME TARİHİ
TRŞ PARÇA NO/REVİZYON :		HAZIRLAYAN :		HTEA NO :		
MÜŞTERİ FIRMA/PARÇA NO/REVİZYON :		HAZIRLAYAN :		REVİZYON NO :		
PROJE NO :		HAZIRLAYAN :		REVİZYON NO :		
SORU	EYET	HAVIR	AÇIKLAMA / GEREKLİ AKSIYON	SORUMLU	HEDEF TARİHİ	GERÇEKLEŞME TARİHİ
1			Tasarım HTEA, tasarımdan sorumlu çapraz fonksiyonlu bir ekip tarafından mı hazırlanmıştır?			
2			Tasarım HTEA sıras ında HTEA Prosedürü'ne uyulmuş mu?			
3			Geçmiş kampanya ve garanti bilgileri gözden geçirilmiş mi?			
4			Benzer parça HTEA 1'eri göz önünde bulundurulmuş mu?			
5			Tasarım HTEA, olası özel ürün karakteristiklerini tanımlıyor mu?			
6			Yüksek risk öncelik puanına sahip hata türlerini etkileyen tasarım karakteristikleri tanımlanmış mı?			
7			Yüksek risk öncelik puanına sahip hata türleri için uygun düzeltici faaliyetler ve sorumlular atanmış, hedef tarihler belirlenmiş mi?			
8			Yüksek şiddet puanına sahip (9 ve üzeri) hata türleri için uygun düzeltici faaliyetler ve sorumlular atanmış, hedef tarihler belirlenmiş mi?			
9			Düzeltilici faaliyetler tamamlandıktan ve doğrulandıktan sonra risk öncelik puanları revize edilmiş mi?			

Şekil 3.6: Tasarım HTEA Kontrol Listesi - Örnek

Tasarım HTEA çalışmaları tamamlandıktan sonra yapılanların uygunluğunu kontrol etmek açısından standart bir kontrol listesi üzerinden gidilerek bir gözden geçirme yapılması önerilir. Bu amaçla kullanılabilir olan kontrol listesi örneği Şekil 3.6'da verilmiştir.

3.1.4. Tasarım HTEA'nin Sağladığı Yararlar

Tüm analiz türleri sonucunda sağlanabilecek olan ortak yararların dışında, Tasarım HTEA sonucunda tür bazında sağlanabilen yararlar aşağıdaki gibi detaylandırılabilir.

1. Yeni ürün tasarım ve geliştirme aksiyonlarındaki önceliklerin belirlenmesi
2. Yeni ürün tasarım ve geliştirme süresinin kısaltılması
3. Yeni ürün tasarım ve geliştirme maliyetlerinin azaltılması
4. Ürün tasarım gereksinimleri ve alternatiflerinin belirlenmesi
5. Ürün sorumluluğu konusundaki risklerin azaltılması
6. Kabul edilemez ürünlerin tasarlanma olasılıklarının azaltılması için üzerinde yoğunlaşılacak yöntemlerin belirlenmesi
7. Fonksiyonel gereksinimleri de içerecek şekilde ürün tasarımının objektif olarak değerlendirilmesi
8. Ürün güvenilirliğinin deneysel olarak test edilebilmesi için gerekli ihtiyaçların belirlenmesi
9. Etkili bir Tasarım Doğrulama Planlanması için altyapı hazırlaması
10. Ürün tasarım sürecindeki mühendislik değişikliklerinin sayısının azaltılması
11. Taslak özel karakteristikler listesinin oluşturulması

3.2. Proses HTEA

3.2.1. Proses HTEA'nin Girdileri

Proses HTEA, prosesten beklentilerin ne olduğunun sorgulanması ile başlar. Dış müşteriler dışında, iç müşteri beklentileri ve gereksinimlerinin de bu listenin ana hatlarını çizmesi gerekir. Bunun için; benzer ürünler ile ilgili iç/dış müşteri şikayetleri/talepleri, istatistiksel proses kontrol raporları, kalite raporları, düzeltici ve önleyici aksiyon raporları ve kontrol planları detaylı olarak analiz edilmelidir. Atölye yerleşim planı ve iş akış diyagramı analizin başlangıç noktasını oluşturur.

Yukarıda belirtilenlere ek olarak; Proses HTEA'nin girdileri arasında; taslak özel karakteristikler listesi, güvenilirlik ve robustluk listesi, tasarım doğrulama test kriterleri ve prototip kontrol planı gibi Tasarım HTEA çıktıları da yer alır. Ayrıca yine benzer ürünlere ait geçmiş Proses HTEA dokümanları da, önemli birer girdidir.

3.2.2. Proses HTEA – Uygulama Formu

Şekil 3.7'da Proses HTEA standart uygulama form örneği verilmektedir. Tipik bir Proses HTEA formunun başlığı içerisinde aşağıdaki maddeler bulunmalıdır.

1. Sistem/Alt Sistem/Bileşen Adı ve Numarası: Analizin yapıldığı seviyeyi gösterir, sistemin/alt sistemin ya da bileşenin adı ve numarası yazılır.
2. Model Yılı/Araç Programı (Biliniyorsa): Analizden etkilenecek olan aracın modeli ve yılı yazılır.
3. Çekirdek Ekip: Ekip üyelerinin ad soyadları ve sorumlulukları yazılır.
4. Proses Sorumluluğu: Proses tasarımından sorumlu olan organizasyonun (ana sanayi firması ve/veya tedarikçi firma) unvanı yazılır.
5. Anahtar Tarih: Proje planı içerisinde HTEA'nin uyması gereken ilk mihenk tarihi yazılır.

6. HTEA Numarası: HTEA doküman numarası yazılır.
7. Hazırlayan: HTEA'ni hazırlamaktan sorumlu kişinin adı ve soyadı yazılır.
8. HTEA Tarihi: Orijinal HTEA hazırlanma tarihi ve son revizyon tarihi yazılır.

3.2.2.1. Proses HTEA – Fonksiyon

Fonksiyon analizinde prosesin tüm fonksiyonları alt alta yazılır. Bu aşamada fonksiyonların ölçülebilir ifadeler ile tanımlanması yararlı olacaktır. Fonksiyon tanımının; “Prosesin bu adımının yapması beklenen nedir?” sorusunu yanıtlatabiliyor olması gerekmektedir.

3.2.2.2. Proses HTEA – Hata Türü

Hata türü, bir parça veya grubun belirlenen mühendislik gereklerini veya özel süreç gereklerini karşılamada yetersizliği olarak tanımlanabilir. Bu operasyon için bir ret nedeni, bir sonraki operasyon için olası bir hata türü ve başka bir operasyon için ise hata türünü yaratan bir neden olabilir. Proses HTEA çalışmalarında, gelen parça(ların)/malzeme(lerin) doğru olduğu varsayılmalıdır.

Hata türleri 4 temel kategoriye ayrılabilir;

1. Fonksiyonu Yerine Getirememe: Sistem veya tasarımın tamamen fonksiyonel olmaması veya çalışmamasıdır.

2. Kısmi/Zamanla Azalan Fonksiyon: Bazı fonksiyon gereksinimlerinin yerine getirilmesi ama tümünün karşılanamaması durumudur. Bu kategori özellikle zaman içerisindeki fonksiyon kayıplarını içerir.



**POTENTIAL
FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS
PROCESS FMEA**

FMEA Number: _____
 Page _____ of _____
 Prepared By: _____
 FMEA Date: (Orig.) _____ (Rev.) _____

Item: _____ Process Responsibility: _____
 Model Year(s)/Program(s): _____ Key Date: _____
 Core Team: _____

Process Function Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	S e v e r i t y	C a s e s	P o t e n t i a l Causes/ Mechanism(s) of Failure	C u r r e n t C o n t r o l		D e t e c t a b i l i t y	R e c o m m e n d e d Action(s)	R e s p o n s i b i l i t y & T a r g e t Completion Date	A c t i o n R e s u l t s		
						P r e v e n t i o n	D e t e c t i o n				A c t i o n s T a k e n	S O D	R P N

Şekil 3.7: Proses HTEA Uygulama Formu - Örnek

3. Kesintili Fonksiyon: Fonksiyonların karşılanması ancak sıcaklık, nem, çevre gibi dış etkenlere bağlı olarak bazen çalışmama veya fonksiyon kaybına uğrama durumudur. Bu hata kategorisinde; sistem belirli bir süre eksiksiz çalışır, daha sonra çalışmaz, sonra tekrar çalışır. Yani çalışma/durma/tekrar çalışma gibi bir sıra olay söz konusu olabilir.

4. Arzu Edilmeyen Fonksiyon: Sistem içerisindeki bileşenler arasında bir etkileşim söz konusudur. Bu bileşenler tek tek incelendiğinde, bağımsız performansları uygun olabilir. Ancak sistem etkileşimleri müşteri tarafından arzu edilmeyen bir fonksiyonu başlatabilir. Bu hata türü Proses HTEA uygulamalarında yaygın değildir.

Hata etkileri belirlenmeye çalışılırken; eğer bir hata türü oluşursa, bu hata türünün;

- Alt sistem/bileşenler ve üst sistem
- Komple sistem
- Müşteri(ler)
- Yasa/yönetmelik(ler) açısından etkileri belirlenmelidir.

Hata türleri listelenirken, Proses HTEA girdileri referans alınarak olabildiğince uzun bir liste hazırlanmalıdır. Eğer proses tamamen yeni bir proses ise; bu aşamada HTEA ekibinin deneyimi ve konuya yakınlığı önemli rol oynar.

Analiz ekibi, olası hata türlerini belirlemeye çalışırken proses akış diyagramı üzerinden giderek aşağıdaki sorulara yanıt arar;

- Bu operasyonda ürün neden ret edilebilir?
- Bu operasyonda ürün nasıl spesifikasyon gereklerini karşılamaz?
- Bir sonraki operasyonun veya operasyonların kabul edilemez diye nitelendireceği neler olabilir?

- Müşteri/son kullanıcının kabul edilemez diye nitelendireceği neler olabilir?
- Yasa/yönetmeliklere uyumsuzluk söz konusu olabilir mi?

Genel olarak proses hata türleri; giriş kontrol, üretim (talaşlı/talaşsız), montaj, proses içi kontroller, depolama ve sevkiyat adımları içerisinde detaylandırılabilir. Proses hata türleri listelenmeden önce, hataların çoğunun bir Tasarım HTEA'da ürün hata türlerinin nedenleri olarak tanımlanabileceği göz ardı edilmemelidir. Bunun nedeni, prosesteki problemlerin ürün hata türlerine neden olmasıdır.

Tipik proses hata türleri arasında; bükülme, çatlama, kaba yüzey işleme, yanlış tezgah ayarı, bakım yetersizliği sayılabilir.

3.2.2.3. Proses HTEA – Hata Etkileri

Hata etkileri; prosesin, proses gerekliliklerinin ve/veya tasarım amacının karşılanmaması ve oluşan hatanın müşteriler üzerindeki yansıması olarak tanımlanır. Hata meydana geldiğinde müşteri üzerine ne tür bir etki yaratacağı belirlenmelidir. Bu amaçla; hata meydana geldiğinde, müşterinin neyi fark edebileceği veya başına nelerin gelebileceği sorgulanır.

Proses HTEA için müşteri, son kullanıcının yanı sıra, aynı zamanda bir sonraki ve ilerleyen üretim/montaj operatörleri, satış ve servis elemanlarıdır. Her bir müşteri, hata türü etkileri belirlenirken göz önüne alınmalıdır.

Hata etkileri, daima müşterinin dikkat edeceği veya karşılaşacağı ürün performansları yönünden tanımlanmalıdır. Eğer hata sonucunda ürün emniyeti veya

yasa/yönetmeliklere uyumsuzluk gibi bir etki doğabilecek ise, bunun çok açık bir dille belirtilmesi gerekir. Hatanın olası etkileri irdelenirken, bileşen/alt sistem ve sistem arasındaki hiyerarşik ilişki unutulmamalıdır. Örneğin bir bileşenin kırılması montajlı kompleenin titreşimli çalışmasına ve bunun sonucunda da kesikli sistem çalışmasına neden olabilir. Kesikli sistem çalışması ise; en son noktada müşteri memnuniyetsizliği doğuracaktır.

Hata etkileri belirlenmeye çalışılırken; eğer bir hata türü oluşursa, bu hata türünün;

- Ürünün üst komplelerinin operasyon, fonksiyon veya durumları
- Sistemin operasyon, fonksiyon veya durumları
- Aracın operasyon, sürüş ve emniyeti
- Müşterinin görecekları, hissedecekleri ve yaşayacakları
- Yasa ve yönetmelikler ile uyum üzerine olan etkileri sorgulanmalıdır.

Son kullanıcı için sonuçlar daima ürün veya sistem performansı açısından dikkate alınmalıdır; gürültü, titreşim, hoş olmayan koku, dengesiz, kötü görüntü, araç kontrolünün kaybı gibi. Eğer müşteri üretimin bir sonraki veya daha sonraki operasyonu(ları) ise, sonuçlar süreç/ operasyon performansı açısından tanımlanmalıdır; bağlanamama, delinememe, karşılamama, montaj edilememe, ekipman/fikstüre zarar verme, operatörü tehlikeye atma gibi.

3.2.2.4. Proses HTEA – Şiddet

Şiddet, potansiyel hata türünün müşteriye etkisinin ciddiyetinin (önem ve tehlikesinin) değerlendirilmesidir. Yalnızca etkiye bağlı olarak değerlendirilir. HTEA ekibi, Tablo 3.4’de verilen Şiddet Değerlendirme Tablosu’nu kullanarak, hata türlerinin şiddet puanları konusunda bir anlaşmaya varır. Hatanın öneminin değerlendirilmesinde,

Tablo 3.4: PHTEA Şiddet Değerlendirme Tablosu

ETKİ	ETKİNİN ŞİDDETİ (Müşteriye Etkisi)	ETKİNİN ŞİDDETİ (Üretim/Montaja Etkisi)	DEĞERLENDİRME
Felaket / Tehlike (Uyarısız)	Potansiyel hata türü uyarısız olarak araç güvenliğini etkilediğinde ve/veya yasal mevzuatlara uygunsuzluk olduğunda çok yüksek şiddet sıralaması alır	Veya makine / montaj operatörünü uyarısız olarak tehlikeye sokar.	10
Felaket / Tehlike (Uyarılı)	Potansiyel hata türü uyarılı olarak araç güvenliğini etkilediğinde ve/veya yasal mevzuatlara uygunsuzluk olduğunda çok yüksek şiddet sıralaması alır	Veya makine / montaj operatörünü uyarılı olarak tehlikeye sokar.	9
Çok Yüksek	Araç / ürün çalışmaz. (Birincil fonksiyon kaybı)	Veya ürünlerin % 100'ü hurdaya ayrılabilir ya da araç/ürün 1 saatten daha fazla bir süre tamir edilmek durumunda kalabilir.	8
Yüksek	Araç / ürün düşük seviyeli performans ile çalışır. Müşteri memnuniyetsizliği yüksek.	Veya ürünler sınıflandırılmak zorunda kalabilir ve bir kısmı (% 100'ünden azı) hurdaya ayrılabilir. Ya da araç/ürün tamir departmanında yarım saat ile bir saat arası bir süre tamir edilmek durumunda kalabilir.	7
Orta	Araç / ürün çalışıyor ancak konfor/rahatlık ve uygunluk kriterlerinden uzak. Müşteri memnuniyetsiz.	Veya ürünün bir kısmı (% 100'den azı) sınıflandırılmadan hurdaya ayrılabilir. Ya da tamir departmanında yarım saatten daha az bir sürede tamir edilmek durumunda kalabilir.	6
Düşük	Araç / ürün çalışıyor ancak konfor/rahatlık ve uygunluk kriterlerden uzak azalan bir performansa sahip. Müşteri oldukça memnuniyetsiz.	Veya ürün % 100 yeniden işlenmek zorunda kalabilir. Ya da aracın / malzemenin çalışması durdurularak tamir departmanına nakledilmeden tamir edilmesi gerekebilir.	5

Çok Düşük	Uygunluk, bitmiş özellikler, gıcırta ve tıkırtı özellikleri uygun değil. Hata neredeyse tüm müşteriler (%75' den daha fazla) tarafından fark edilebilmektedir.	Veya ürün hurdaya ayrılmadan sınıflandırılmak zorunda kalınabilir ve bir kısmı (%100' den daha azı) yeniden işlenir.	4
Önemsiz	Uygunluk, bitmiş özellikler, gıcırta ve tıkırtı özellikleri uygun değil. Hata müşterilerin %50'si tarafından fark edilebilmektedir.	Veya ürünlerin bir kısmı (%100' den daha azı) hurdaya ayrılmadan hat içinde ancak istasyon dışında yeniden işlenebilir.	3
Çok Önemsiz	Uygunluk, bitmiş özellikler, gıcırta ve tıkırtı özellikleri uygun değil. Hata hassas müşteriler tarafından (%25' inden azı) fark edilebilmektedir.	Veya ürünlerin bir kısmı (%100' den azı) hurdaya ayrılmadan hatta ve istasyonda yeniden işlenebilir.	2
Hiç	Fark edilebilir bir etki yok	Veya operasyonda / operatörde çok az bir rahatsızlık ya da hiç etki yok.	1

söz konusu hatanın müşteri üzerindeki etkisi esas alındığından, belirli bir hatanın bütün olası nedenlerine aynı şiddet değeri verilmelidir. Şiddet değeri ancak ürün tasarımının değiştirilmesi veya prosesin yeniden tasarlanması ile değiştirilebilir. Proses sırasındaki kontrollerden etkilenmez. Şiddet değeri belirlenirken sadece hatanın sonucu (etkisi) esas alındığından, belirli bir etki yaratan hatanın tüm olası nedenleri de aynı şiddet değerini alırlar.

Şiddet kolonuna en ciddi etkiyi yaratacak olan duruma ait olan değer girilmelidir. Bu nedenle her bir hata türü için yalnızca tek bir şiddet değeri olmalıdır.

3.2.2.5. Proses HTEA – Hata Nedenleri

Hataların potansiyel nedenleri, düzeltilebilecek veya kontrol edilebilecek proses değişkenleri cinsinden tanımlanır. Her bir hata türüne neden olabilecek bütün olası nedenler liste halinde sıralanmalıdır. Listeye alınan nedenler mümkün olduğu kadar kısa/özlü ve tam olmalıdır ki, düzeltici yönde sarf edilecek çabalar uygun olsun. Nedenler hataları yaratır, hatalar da müşteri üzerine olan etkileri (sonuçları) doğurur. Hata nedenleri genelde hata ile karşılıklı olarak doğrudan ilişkili olmadığından, nedenin kontrolü için kullanılabilir, örnek olarak; deney tasarımı hatayı oluşturan ana nedenleri ve bu nedenlerin hangilerinin en kolay şekilde kontrol edilebileceğine karar vermekte kullanılabilir.

Her bir hata türü için olası nedenler araştırılırken aşağıdaki sorulara yanıt aranır;

- Prosesin fonksiyonunu yerine getirmesine hangi koşullar engel olabilir?
- Ürün hangi koşullar altında mühendislik spesifikasyonlarının gereklerini karşılayamaz?
- Ürün hangi koşullar altında bir sonraki operasyon veya operasyonlar ile uyumlu olamaz?

Proses HTEA içerisinde, operasyona gelen parça(lar)/malzeme(ler)in doğru olduğu kabul edilerek nedenler belirlenir.

Tipik hata nedenlerine örnek olarak; uygun olmayan tork değeri (üstünde, altında) uygun olmayan kaynak / basınç / ısıtma işlem / zaman / sıcaklık, yanlış ölçüm, yetersiz aralık/havalandırma, yetersiz yağlama ya da hiç yağlama olmaması, kayıp parça ya da yanlış yerleştirme verilebilir.

3.2.2.6. Proses HTEA – Olasılık

Nedenin ve onun yarattığı hatanın beraber meydana gelme olasılığıdır. HTEA ekibi, Tablo 3.5’de verilen Proses HTEA Olasılık Değerlendirme Tablosu’nu kullanarak, hata türlerinin şiddet puanları konusunda bir anlaşmaya varır.

Tablo 3.5: Proses HTEA Olasılık Değerlendirme Tablosu

ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI	ORTAYA ÇIKMA SIKLIĞI	OLASILIK	DEĞERLENDİRME
Uzak: Başarısızlık çok uzak	\leq Bin parçada 0,010	$\leq 1.00 \times 10^{-5}$	1
Düşük: Oldukça seyrek başarısızlık	Bin parçada 0,1	1.00×10^{-4}	2
	Bin parçada 0,5	5.00×10^{-4}	3
Orta: Ara sıra başarısızlıklar	Bin parçada 1	1.00×10^{-3}	4
	Bin parçada 2	2.00×10^{-3}	5
	Bin parçada 5	5.00×10^{-3}	6
Yüksek: Tekrar eden başarısızlıklar	Bin parçada 10	1.00×10^{-2}	7
	Bin parçada 20	2.00×10^{-2}	8
Çok Yüksek: Başarısızlık kaçınılmaz	Bin parçada 50	5.00×10^{-2}	9
	Bin parçada $100 \geq$	1.00×10^{-1}	10

Eğer prosese, istatistiksel proses kontrol uygulanıyorsa veya benzer bir prosese ait istatistiksel proses kontrol verileri mevcut ise, olasılıkların değerlendirmesi için söz konusu istatistiksel veriler kullanılmalıdır. Bu amaçla “Proses Yeterlilik İndeksi” C_{pk} ‘den yararlanılabilir. Sözü edilen indeks, üretim sırasında proses yeterliliğinin derecesini ve bunu ne kadar iyi kullanabildiğimizi belirler. C_{pk} aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır;

$$C_{pk} = (\text{Üst Spesifikasyon Limiti} - \text{Alt Spesifikasyon Limiti}) / 6\sigma$$

Normal dağılım $+\infty$ ve $-\infty$ arasında bir dağılım göstermesine karşın, hemen hemen tüm değişken değerleri $\mu \pm 3\sigma$ aralığına düşecektir. Bu nedenle dağılımın standart sapması (σ), 6 ile çarpıldığı zaman sürecin doğal toleransı bulunur. Buna karşılık olarak önerilen tolerans ise (Üst kontrol Limiti – Alt Kontrol Limiti) olacaktır. Prosesin doğal tolerans ile önerilen toleransı karşılaştırıldığında aralarındaki ilişki aşağıdaki üç durumdan birisi ile açıklanabilir;

1. $C_{pk} < 1$; proses yeterliliği uygun değildir. Çünkü üretilen bazı parçalar, alt veya üst spesifikasyon limitinin dışında olacağı için hatalı parça üretilmiş olur. Proses kontrol altında olsa bile, yine de hatalı parça üretimi kaçınılmazdır.

2. $C_{pk} \geq 1$; proses yeterliliği uygundur. Ancak yine de hatalı parça üretme riski vardır. Proses dağılımının uç noktaları, alt ve üst spesifikasyon limitleri ile çakıştığında sorun olmaz. Ancak proses ortalamasındaki kaymalar hatalı parça üretilmesine neden olacaktır.

3. $C_{pk} \geq 1.33$; proses yeterliliği için en uygun durumdur. Proses ortalamasında kaymalar olsa bile, hatalı parça üretilme riski olmayacaktır (Baskan, 1997, 405).

Proses yeterlilik indeksleri ile ilişkili olarak olasılık puanlarını veren tablo, Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6: Proses Yeterlilik İndeksleri ile Olasılık Puanları Arasındaki İlişki

ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI	Cpk	DEĞERLENDİRME
Uzak: Başarısızlık çok uzak	$\geq 1,67$	1
Düşük: Oldukça seyrek başarısızlık	$\geq 1,50$	2
Düşük: Oldukça seyrek başarısızlık	$\geq 1,33$	3
Orta: Ara sıra başarısızlıklar	$\geq 1,17$	4
Orta: Ara sıra başarısızlıklar	$\geq 1,00$	5
Orta: Ara sıra başarısızlıklar	$\geq 0,83$	6
Yüksek: Tekrar eden başarısızlıklar	$\geq 0,67$	7
Yüksek: Tekrar eden başarısızlıklar	$\geq 0,51$	8
Çok Yüksek: Başarısızlık kaçınılmaz	$\geq 0,33$	9
Çok Yüksek: Başarısızlık kaçınılmaz	$\geq 0,33$	10

Eğer proses yeterlilik indeksinin hesaplanabileceği ölçüde bir üretim yapılmamış ise veya istatistiksel kontrol altında olan benzer bir proses yok ise; o zaman prosesteki hata oranı, hurda ve düzeltme oranları gibi işletme verileri kullanılarak bir öngörü yapılabilir. Hata oranları ile ilişkili olarak olasılık puanlarının değerlendirilmesi Tablo 3.7’de verilmektedir.

Tablo 3.7: Hata Oranları ile Olasılık Puanları Arasındaki İlişki

ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI	HATA ORANI	DEĞERLENDİRME
Uzak: Başarısızlık çok uzak	\leq Binde 0.01	1
Düşük: Oldukça seyrek başarısızlık	Binde 0.1	2
Düşük: Oldukça seyrek başarısızlık	Binde 0.5	3
Orta: Ara sıra başarısızlıklar	Binde 1	4
Orta: Ara sıra başarısızlıklar	Binde 2	5
Orta: Ara sıra başarısızlıklar	Binde 5	6
Yüksek: Tekrar eden başarısızlıklar	Binde 10	7
Yüksek: Tekrar eden başarısızlıklar	Binde 20	8
Çok Yüksek: Başarısızlık kaçınılmaz	Binde 50	9
Çok Yüksek: Başarısızlık kaçınılmaz	\geq Binde 100	10

3.2.2.7. Proses HTEA – Mevcut Proses Kontrolleri

Proses kontrolleri; ürün hatalarının müşteriye giderek bir zarar vermemesi için uygulanan yöntemlerdir. Bunların arasında istatistiksel proses kontrol, hata önleme (Poka-yoke), proses-içi ve sonrası yapılan kontrol ve muayeneler sayılabilir.

Olası hataların tasarım nedenlerinin oluşumunu ve sonuç hata türünü önlemek veya ortaya çıkarmak için uygulanacak bütün kontroller listelenmelidir. Bu kontroller; daha önce aynı veya benzer parçalar üzerinde uygulanmış veya uygulanmakta olan kontroller olabilir. Başlangıç aşamasında, olasılık ve keşfedilebilirlik kullanılacak prototipler göz önüne alınarak, bu kontrollere dayandırılacaktır. Listelenen kontroller, doğrudan doğruya hatanın özel nedenlerini önlemeye veya ortadan kaldırmaya yönelik olmalıdır.

”Mevcut Proses Kontrolleri” sütununda; planlanan kontroller gösterilmeyecektir. Eğer daha ileri kontroller uygulanacaksa “Önerilen Aksiyonlar” kolonuna yazılmalı ve mühendislik dokümanlarına eklenmelidir.

Proses kontrolleri iki farklı tipte olabilir;

1. Önleyici kontroller: Hata nedeninin/mekanizmasının veya hata türü/etkisinin ortaya çıkmasını engelleyen veya olasılığını azaltan kontrollerdir.

2. Keşfedici kontroller: Hata nedeninin/mekanizmasını veya hata türü/etkisini keşfeden kontrollerdir. Genellikle seri üretim yayınından önce kullanılan analitik ve fiziksel yöntemler bu grup içerisinde değerlendirilir.

Önerilen yaklaşım; eğer mümkün ise, 1.tip (önleyici) kontrollerin uygulanmasıdır. İlk olasılık puanlandırması, tasarım hedefinin bir parçası olarak entegre

edilmiş olan önleyici kontrollerden etkilenecektir. İlk keşfedilebilirlik puanlandırması ise; hata nedeni/mekanizması veya hata türünü keşfetmeye dönük 2.tip proses kontrollerine dayandırılacaktır.

Bütün bunlar değerlendirilirken, laboratuvar testlerinin %100 güvenilir olamayabileceği, kalibrasyon sisteminin yetersiz olabileceği, müşterinin gerçek kullanım koşullarına benzetişim zorluğu ve ürünü tam temsil edebilen prototiplerin üretilip üretilmediği de göz ardı edilmemelidir.

Proses kontrollerinin belirlenmesi için aşağıdaki adımlar izlenebilir;

1. Listelenen hata türlerini ortaya çıkarmak için kullanılacak olan tüm geçmiş kontrol yöntemleri belirlenir. Bu aşamada referans olarak; geçmiş HTEA, kontrol planları ve güvenilirlik ve robustluk kontrol listelerinin yanı sıra, daha önceki problem çözme uygulamalarında kök nedenin ortadan kaldırılması için kullanılmış olan kontrol yöntemleri de referans alınır.

2. Belirlenmiş olan yöntemler listelenir.

3. Olası diğer yöntemler aşağıdaki sorular ışığında ortaya çıkarılmaya çalışılır.

- Hangi şekilde bu hata türünün nedeni farkına varılabilir?
- Bu nedenin ortaya çıktığı nasıl keşfedilebilir?
- Hangi şekilde bu hata türü farkına varılabilir?
- Bu hata türünün ortaya çıktığı nasıl keşfedilebilir?

Hata türlerinin nedenlerini ortadan kaldırmak veya azaltmak için kullanılan kontrol yöntemleri; aynı zamanda nedenin oluşma olasılığını da etkileyebilir. Eğer böyle bir durum söz konusu ise; bu kontrol yöntemleri olasılık puanlandırması yapılırken göz önüne alınmalıdır. Proses kontrol yöntemleri arasında; manuel ve görsel kontroller,

görsel/işitsel uyarı cihazları, proses içi ve sonrası ölçüm ve muayeneler, otomatik kontroller, makina ayar doğrulamaları, laboratuvar testleri, istatistiksel proses kontrol ve hata önleme sayılabilir.

Bazı formlarda “Mevcut Proses Kontrolleri” kolonu; önleyici ve keşfedici olarak ikiye ayrılmıştır. Eğer kolon ikiye ayrılmamış ise; aynı kolona yazılan kontrollerin sonuna Önleyici (Ö) veya Keşfedici (K) gibi uzantılar konularak iki tip kontrol birbirinden ayrılabilir.

3.2.2.8. Proses HTEA – Keşfedilebilirlik

Keşfedilebilirlik, bileşen/alt sistem veya sistemin; proses kontrolleri kullanılarak olası hata türlerinin ortaya çıkarılabilme yeteneğidir. Hata olmuş gibi varsayılarak, geçerli proses kontrollerinin hatayı müşteriye gitmeden önce keşfedebilme kriterleri değerlendirilir. HTEA ekibi, Tablo 3.8’de verilen Proses HTEA Keşfedilebilirlik Değerlendirme Tablosu’nu kullanarak, hata türlerinin keşfedilebilirlik puanları konusunda bir anlaşmaya varır.

Keşfedilebilirlik puanlandırması yapılırken, hata türü veya bu hata türünün nedenini keşfetmek için kullanılacak olan kontroller göz önüne alınır. Hata türünü nedenlerini ortadan kaldırmaya veya azaltmaya yönelik olan kontroller ise; olasılık puanlandırması yapılırken değerlendirilmelidir. Yalnızca seri üretime başlanmadan önce kullanılan kontrol yöntemleri, keşfedilebilirlik puanlandırması yapılırken kullanılmalıdır.

Tablo 3.8: Proses HTEA Keşfedilebilirlik Değerlendirme Tablosu

KEŞFEDİLEBİLİRLİK	KRİTER	KONTROL			METOD ARALIĞI	DEĞERLENDİRME
		A	B	C		
Hemen hemen olanaksız	Kesinlikle keşfedilemez			X	Keşfedilemez veya mevcut kontrol yok	10
Çok uzak	Kontroller ile muhtemelen keşfedilemeyecektir			X	Kontroller dolaylı olarak ya da rasgele yapılıyor	9
Uzak	Kontroller ile zayıf bir olasılıkla keşfedilebilir			X	Kontroller sadece göz muayenesi ile yapılıyor	8
Çok düşük	Kontroller ile zayıf bir olasılıkla keşfedilebilir			X	Kontroller iki göz ile muayene ile yapılıyor	7
Düşük	Kontroller ile belki keşfedilebilir		X	X	Kontroller İPK metotları ile yapılıyor	6
Orta	Kontroller ile belki keşfedilebilir		X		Parçalar üretim istasyonunda çıktıktan sonra rasgele ölçülüyor ve % 100 master ile kontrol ediliyor	5
Kısmen yüksek	Kontroller ile keşfetme olasılığı var	X	X		Sonraki istasyonlarda hata önleme metotları uygulanıyor ve ya ayar sırasında ölçüm ve ilk parça kontrolü yapılıyor (sadece ayar nedenleri için)	4
Yüksek	Kontroller ile keşfetme olasılığı var	X	X		Üretim istasyonunda hata önleme veya sonraki operasyonların çeşitli kademelerinde hata önleme çalışmaları yapılıyor: Tedarik, seçim, uygulama, doğrulama. Uygun olmayan parçalar kabul edilemez.	3

Çok yüksek	Kontroller ile neredeyse kesin olarak keşfedilebilir	X	X	Üretim istasyonunda hata önleme (otomatik ölçüm) var. Uygun olmayan parçalar geçemez.	2
Nerede ise kesin	Kontroller ile kesin olarak keşfedilebilir	X		Ürün/proses tasarımı hata önlemeye yönelik olduğu için uygun olmayan ürün üretilmez.	1

A: Hatasızlaştırma
B: Ölçüm
C: Manuel kontroller

Bu konu değerlendirilirken göz önüne alınması gereken noktalar aşağıda belirtilmiştir;

1. Keşfedilebilirlik yeteneğini arttırmak için proses ve/veya tasarım değişikliği gereklidir.
2. Genellikle, keşfedilebilirlik ile ilgili kontroller maliyetlidir ve kalitenin geliştirilmesi açısından etkili değildir.
3. Kalite kontrol sıklığının artırılması yalnızca geçici bir önlem olarak düşünülmelidir.
4. Bazı durumlarda spesifik bir parçanın tasarım değişikliği, keşfedilebilirlik yeteneğinin artırılması için gerekli olabilir.
5. Mevcut kontrol sistemindeki değişiklikler, keşfedilebilirlik yeteneğinin artırılması için uygulanabilir.

3.2.2.9. Proses HTEA – Risk Öncelik Göstergesi

Risk Öncelik Göstergesi (RÖG); her bir hata türü için belirlenen şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerlerinin çarpılması sonucunda elde edilir. Bu değer hata türlerinin göreceli olarak önemini gösteren bir değerdir. HTEA sonucunda elde edilen RÖG değerlerinin Pareto Analizi ile hangi hata türleri ve bunlara bağlı olan risklerin daha önemli olduğu belirlenebilir. Ardından en yüksek RÖG değerine sahip hata türleri için düzeltici/önleyici aksiyonlar önerilmelidir. Bu aksiyonların amacı; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik değerlerinden bir ya da birkaçını azaltmaktır.

Tasarım HTEA çalışmaları sırasında; olasılık ve keşfedilebilirlik puanı ne olursa olsun, şiddet puanı 9 ve üzeri olan veya şiddet puanı 5–8 arasında iken olasılık puanları 4 ve üzeri olan tüm hata türlerine özel ilgi göstermelidir.

3.2.2.10. Proses HTEA – Önerilen ve Alınan Önlemler

Önerilen aksiyonların RÖG değerini izleyen sırada düşürmeyi hedeflemesi beklenir; önce şiddet, ardından olasılık ve keşfedilebilirlik.

Burada amaç riskin azaltılması ve aynı zamanda prosesin de geliştirilerek müşteri memnuniyetinin artırılmasıdır. Bu; olası hata türlerini ortadan kaldıracak veya azaltacak önleyici aksiyonların belirlenmesi ile olabileceği gibi, prostedeki zayıflığın keşfedilmesine yardımcı olacak keşfedici aksiyonların belirlenmesi şeklinde de olabilir. Önerilebilecek önlemler arasında; tasarım geometrisi ve/veya toleransların değiştirilmesi, malzeme ve ısıl işlem spesifikasyonlarının değiştirilmesi, proses-içi ve sonrası kontrollerin kapsamının genişletilmesi ve kabul kriterlerinin değiştirilmesi, yeni test ve ölçüm ekipmanlarının devreye alınması ve/veya mevcutların revizyonu,

işitsel/görsel uyarıcıların devreye alınması ve kalibrasyon yeteneklerinin artırılması sayılabilir.

Eğer önerilen önlemler, yüksek bir maliyet ve/veya uzun bir devreye alma süreci gerektiriyorsa, birkaç alternatif önerilerek aralarından en uygununun seçilmesi sağlanmalıdır. HTEA ekibi herhangi bir önlem önermiyor ise; “Önerilen Aksiyonlar” kolonuna “Gereksiz” yazılmalıdır.

Her bir aksiyon için sorumlu ve hedef tarih belirlenmelidir. Aksiyon tamamlandıktan sonra ilgili tarih form üzerine işlenmelidir. İlgili tüm aksiyonların izlenmesi ekip lideri tarafından yürütülür. Bu aksiyonlar tamamlandıktan sonra veya aksiyon sorumlusundan ileriye dönük olarak alınan öngörüler doğrultusunda; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik puanları yeniden belirlenir ve yeni RÖG değerleri hesaplanır.

3.2.3. Proses HTEA'nin Çıktıları

Proses HTEA'nin belli başlı çıktıları arasında; risklere göre önceliklendirilmiş olası hata türleri (İlgili nedenleri ve etkileri ile beraber), onaylanmış özel karakteristikler listesi, proses tasarım bilgileri, üretim makina/teçhizat/ekipman/fikstür ihtiyaçları, mevcut makina/teçhizat/ekipman/fikstürlerde ve teknik resim/ dokümanlarda revizyon gereksinimi, yeni proses içi kontrol ekipmanları listesi, proses ürün tasarımı ile ilgili olası düzeltici/önleyici aksiyonların listesi ve prototip kontrol planı sayılabilir. Ayrıca Proses HTEA; operasyon planları ve talimatları için de anlamlı girdiler sağlar.

Proses HTEA çalışmaları tamamlandıktan sonra yapılanların uygunluğunu kontrol etmek açısından standart bir kontrol listesi üzerinden gidilerek bir gözden geçirme yapılması önerilir. Bu amaçla kullanılacak olan standart kontrol listesi örneği Şekil 3.8'de verilmiştir.

PROSES HTEA KONTROL LİSTESİ							
PARÇA ADI : PARÇA NO / REVIZYON : MÜŞTERİ FIRMA/PARÇA NO/REVIZYON : PROJE NO :		HAZIRLANMA TARİHİ : HAZIRLAYAN : PROSES HTEA NO : REVIZYON NO :					
S O R U		E V E T	H A Y I R	AÇIKLAMA / GEREKLİ AKSIYON	SORUMLU	HEDEF TARİHİ	GERÇEKLEŞME TARİHİ
1	Proses HTEA, çapraz fonksiyonlu bir ekip tarafından mı hazırlanmış?						
2	Proses HTEA sırasında HTEA Prosedürü'ne uyulmuş mu?						
3	Geçmiş kampanya ve garanti bilgileri gözden geçirilmiş mi?						
4	Benzer parça HTEA 'leri göz önünde bulundurulmuş mu?						
5	Olası özel karakteristikler, Proses HTEA çalışmaları ile teyid edilmiş mi?						
6	Yüksek risk öncelik puanına sahip hata türleri için uygun düzeltici faaliyetler ve sorumlular atanmış, hedef tarihler belirlenmiş mi?						
7	Yüksek şiddet puanına sahip (9 ve üzeri) hata türleri için uygun düzeltici/önleyici faaliyetler ve sorumlular atanmış, hedef tarihler belirlenmiş mi?						
8	Düzeltilici/önleyici faaliyetler tamamlandıktan ve doğrulandıktan sonra risk öncelik puanları revize edilmiş mi?						

Şekil 3.8: Proses HTEA Kontrol Listesi – Örnek

3.2.4. Proses HTEA'nin Sağladığı Yararlar

Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin sağladığı temel avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Yeni proses tasarım ve geliştirme aksiyonlarındaki önceliklerin belirlenmesi
2. Yeni proses tasarım ve geliştirme süresinin kısaltılması
3. Yeni proses tasarım ve geliştirme maliyetlerinin azaltılması
4. Yeni üretim/montaj yöntemlerinin geliştirilmesi
5. Yeni proses kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi
6. Proses değişkenliklerinin belirlenmesi
7. Hurda ve düzeltmelerin azaltılması
8. Kabul edilemez ürünlerin üretilme olasılıklarının azaltılması için üzerinde yoğunlaşılacak yöntemlerin belirlenmesi
9. Kabul edilemez ürünlerin keşfedilebilme olasılıklarının arttırılması için üzerinde yoğunlaşılacak yöntemlerin belirlenmesi
10. Üretim/montaj kontrol planlarının hazırlanmasına yardımcı olunması
11. Ürün tasarım değişikliklerinin, proses üzerindeki etkileri konusunda tasarım ekibine geri besleme sağlanması
12. Üretim ekipmanlarındaki değişikliklerin azaltılması
13. Operatör emniyeti ile ilişkili altyapı için girdi sağlanması
14. Yeni bakım yöntemlerinin geliştirilmesine yardımcı olunması
15. Taslak özel karakteristikler listesinin onaylanması

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

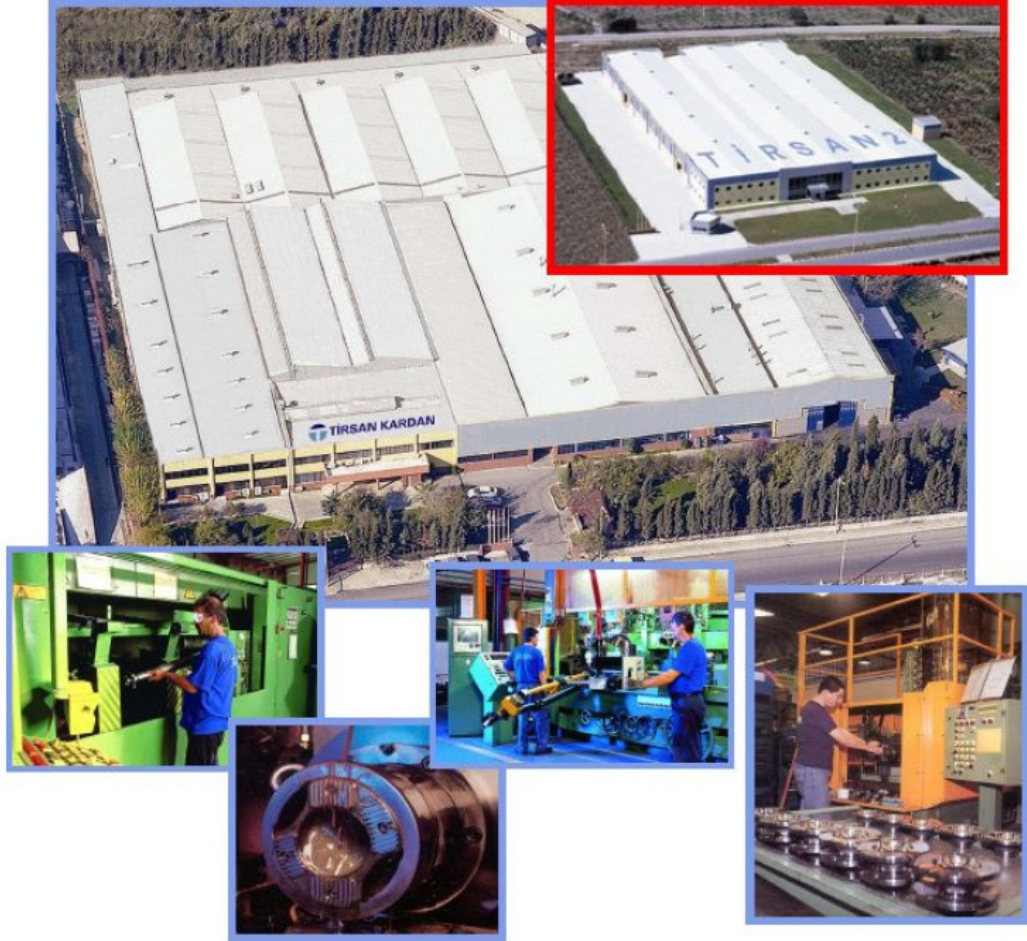
4.1. Uygulama Yeri

Bu tez içerisindeki uygulamanın gerçekleştirildiği Tirsan Kardan A.Ş, Tiryakiler Şirketler Grubu içerisinde yer alan 4 firmadan birisidir. 1977 yılında Manisa Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyete geçen firma; başlangıçta yalnızca yedek parça pazarına hizmet verirken; günümüzde aralarında Ford of Europe, Volvo Global Trucks, Renault V.I., MAN ve Hyundai Motor Company gibi dünya çapında birçok otomotiv ana sanayi firmasına komple sistem tedarikçisi olarak hizmet veren yan sanayi firmalarından birisi haline gelmiştir.

Firma, 2006 Haziran ayı itibarı ile 60'ı beyaz yakalı olmak üzere toplam 415 çalışana sahiptir. 23.000m²'lik alan üzerine kurulu olan Tirsan Kardan A.Ş.'nin 2005 yılı cirosu 60 milyon Amerikan Doları iken; bu rakamın %65'i yurtdışına yapılan satışlardan elde edilmektedir. Çelik bar olarak giren hammadde, önce talaşsız ardından talaşlı olarak şekillendirildikten sonra montaj yapılarak komple ürün halinde müşteri firmalara sevk edilmektedir. Bu yönü ile Tirsan Kardan A.Ş., kardan mili üretimi konusunda; sıcak dövme, talaşlı üretim ve montaj birimlerine sahip dünyadaki 2 entegre tesisten birisidir. Firmanın ürün yelpazesi içerisinde; kardan millerinin dışında transmisyon flanşları ve direksiyon kolonları yer almaktadır. Fabrika binasına ait genel görünüm Şekil 4.1'de verilmiştir.

Tirsan Kardan A.Ş.; ISO 9001: 2000 Kalite Yönetim Sistemi ve TS EN ISO 14001: Çevre Yönetim Sistemi Belgeleri'nin yanı sıra, 2004 yılından beri ISO 9001: 2000 Kalite Yönetim Sistemi'nin otomotiv üretimi ve ilgili servis parçaları organizasyonlarında uygulanması için özel koşulları içeren ISO TS 16949: 2002 Belgesine de sahiptir. Ayrıca Tirsan Kardan A.Ş., Ford Q1 ve Hyundai 5 Star gibi

saygın ana sanayi kalite belgelerini Türkiye’de almaya hak kazanan ilk firmalar arasındadır.



Şekil 4.1: Tirsan Kardan A.Ş. Genel Görünüm

4.2. Uygulamanın Amacı ve Kapsamı

Son yıllarda otomotiv sektöründe; yalnızca üretim yapan ve proses tasarımından sorumlu olan yan sanayi firmaları değil, aynı zamanda ürün tasarım sorumluluğunu da

olarak, ana sanayi firmaları ile çözüm ortağı gibi çalışan yan sanayi firmaları çok daha rekabetçi olabilmektedir. Bu nedenle, proses güvenilirliğinin yanı sıra, tasarım güvenilirliği de otomotiv yan sanayi firmalarının sorumluluk alanları içerisine almaları gereken bir kavram haline gelmiştir.

Bunun sonucu olarak; otomotiv yan sanayi firmaları yalnızca üretim yapan firmalar olmak yerine giderek insan kaynakları, teknoloji geliştirme ve eğitim gibi alanlara daha çok yatırım yapan, bilgi tabanlı firmalar olmak yönünde ciddi adımlar atmaktadır.

Konuya Hata Türü ve Etkileri Analizi yönünden bakılacak olursa; yalnızca Proses HTEA değil, uygulaması çok daha zor olan ve ciddi bir bilgi birikimi gerektiren Tasarım HTEA de yan sanayi firmaları tarafından etkin olarak uygulanması gereken bir analiz türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu gelişmeler ışığında; Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin temel türlerinden birisi olmasına karşın halen daha ülkemizde Proses HTEA'ne göre çok daha kısıtlı olan Tasarım HTEA'nin bir otomotiv yan sanayi firmasında uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama sırasında ayrıca güvenilirlik ve robustluk bağlantıları da kurularak çok daha gerçekçi sonuçların alınabileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

4.3. Uygulamada Kullanılan Yöntem

HTEA çalışmaları sırasında bazı profesyonel yazılımların kullanılması son yıllarda giderek yaygınlaşmıştır. Bu eğilimin temel nedenleri arasında; analiz çalışmalarının bilgisayar temelli bir sistematik ile desteklenebilmesi, mühendislik çalışmalarına dokümantasyon çalışmalarından daha fazla zaman ayrılabilmesi, hazırlanan dokümanların revizyon kontrollerinin daha sağlıklı yapılabilmesi, önerilen aksiyonların analiz dokümanları ile ilişkili ayrı bir dosya üzerinden izlenebilmesi, HTEA dokümanları ile teknik resimler, operasyon kartları/planları, proses akış şemaları, kontrol planları ve tasarım doğrulama planları gibi dokümanlar arasındaki ilişkinin

kurulabilmesi ve her şeyden önemlisi; geçmiş HTEA çalışmalarına ait dokümanların söz konusu yazılım içerisinde tutularak öğrenilmiş derslere ait bir veri tabanının analiz ekibinin kullanımına açılması sayılabilir. Sonuç olarak HTEA dokümanları birer kayıt değil, yaşayan dokümanlardır. Firma içerisinde ürün ve proses güvenilirliği konusunda yaratılacak olan kurumsal belleğe ciddi katkılarının olması beklenir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasına konu olan uygulama sırasında FMEA-Pro yazılımı kullanılmıştır. Otomotiv sektörünün yanında havacılık ve elektronik sektörlerinde de yaygın olarak kullanılan söz konusu yazılım; DYADEM firmasının kantitatif risk analizi için özel olarak geliştirdiği bir yazılımdır.

Analiz ekibinin, gerektiğinde doğru bilgiye en kısa sürede ulaşabilmesi için bu tip bilgi tabanlı yazılımlardan destek alınması, uygulamaları daha gerçekçi hale getirmektedir. Çünkü gelişmiş veri tabanları yaratılmasına olanak sağlayan bu yazılımlar, beyin fırtınalarının daha etkin yapılabilmesine, yeni görüşlerin daha kolay yaratılabilmesine ve elde edilen bilginin daha çabuk ve daha verimli olarak yapılacak analiz çalışmaları içerisinde dahil edilmesine yardımcı olur. Özellikle geçmiş hata türleri/nedenleri ve öğrenilmiş dersleri içeren geçmiş analiz çalışmaları çok değerli olan kurumsal belleğin sağlanmasında kullanılabilir.

Analiz çalışmaları sırasında referans olarak; Ford FMEA Handbook (with Robustness Linkages), AIAG FMEA Reference Manual ve AIAG Advanced Product Quality Planning (APQP) Reference Manual kullanılmış, ayrıca firma içerisindeki Hata Türü ve Etkileri Analizi Prosedürü izlenmiştir.

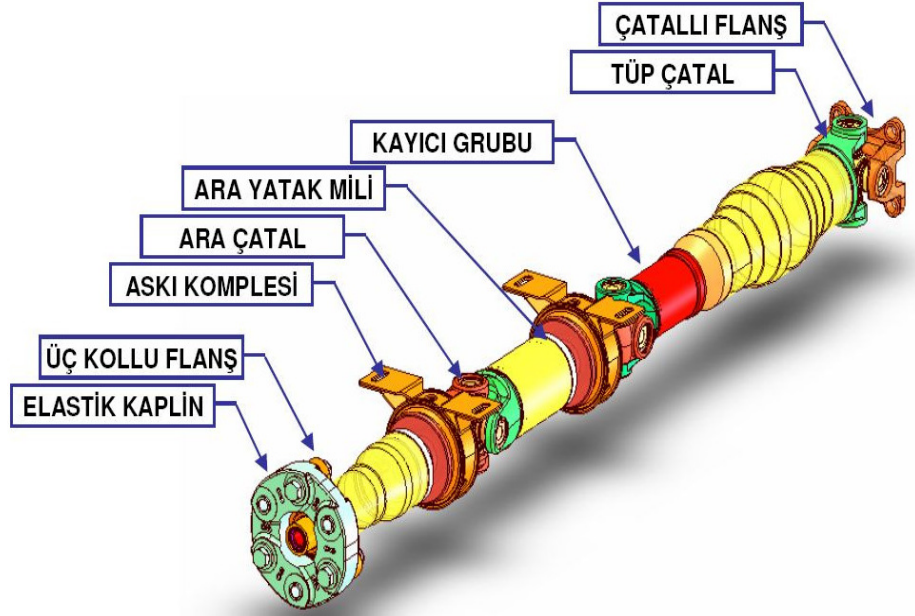
4.4. Uygulama Kapsamına Alınan Ürünün Tanıtımı

Uygulama kapsamına alınan ürün; 2007 yılının ikinci yarısında seri olarak üretilmeye başlanacak olan yeni Ford Transit araçlarda kullanılması planlanan kardan milidir.

Analiz kapsamının çok geniş tutularak konsantrasyon kaybının yaşanmaması, öncelikli konular üzerine yoğunlaşılabilmesi ve kısıtlı olan proje zaman planına uyulabilmesi için; ürünün birincil fonksiyonları incelenmiştir. Bu fonksiyonlar temel başlıklar altında aşağıdaki gibi sıralanabilir;

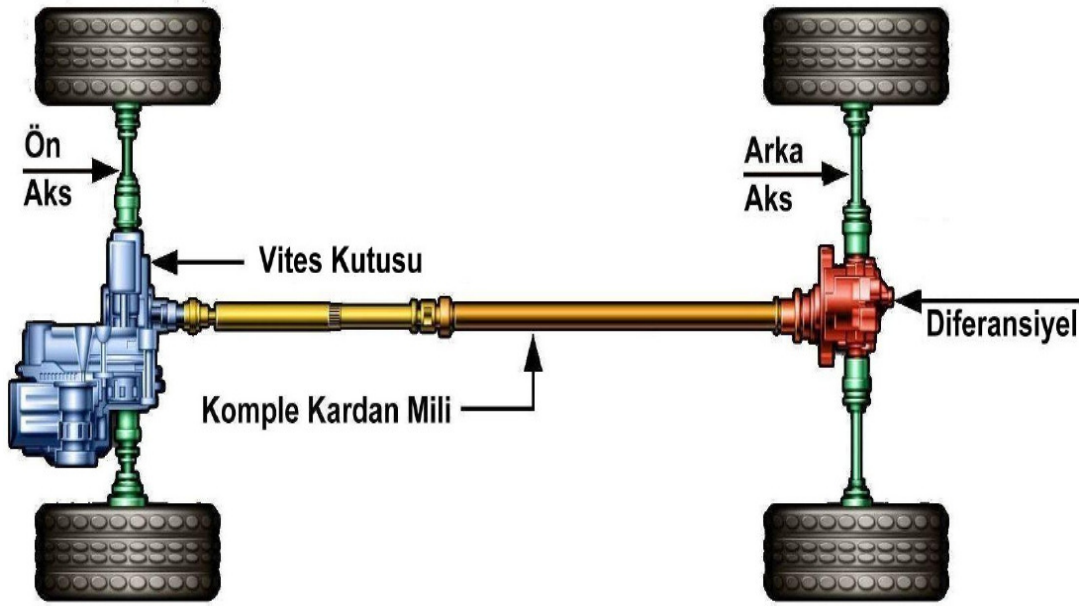
1. Motor/Vites kutusu akuplesi ile diferansiyel arasında tork aktarmak
2. Motor/Vites kutusu akuplesi ile diferansiyel arasında devir aktarmak
3. Arka süspansiyon hareketinden kaynaklanan eksenel deplasmanı karşılamak
4. Arka süspansiyon hareketinden kaynaklanan açısall deplasmanı karşılamak
5. Servis beklentilerini karşılamak (Dayanıklılık/Konfor/Çevre)

Analiz sırasındaki tanımlamalara yardımcı olmak için, komple ürünün detay parçalarını gösteren 3 boyutlu kroki Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2: Komple Kardan Mili Detay Parçaları

Ayrıca, Şekil 4.3'ten komple kardan miline ait araç üstü yerleşimi canlandırılan kroki görülebilir.



Şekil 4.3: Komple Kardan Mili Araç Üstü Yerleşimi

4.5. Uygulama Ekibi ve Uygulamanın Sınırları

Uygulamayı yapacak olan çapraz fonksiyonlu çekirdek ekip içerisinde; Ürün Geliştirme, Kalite, Test, Montaj, Üretim, Servis, Satınalma ve Satış Bölümleri'nden katılımcılar alınmıştır. Bu ekip, daha önce en az 5 kez Tasarım HTEA çalışmalarında aktif rol almış 8 kişiden oluşmaktadır. Ayrıca; Ford Motor Company ve Ford Otosan firmalarından katılımcıların yanı sıra, ileri mühendislik analizleri ve tasarım doğrulama

test cihazları konusunda danışmanlık hizmeti veren bazı firmalardan uzmanların da belirli aşamalarda ekibe dahil olmaları sağlanmıştır.

Analizin; konsept tasarım ile beraber başlatılması, ürün tasarım sürecinin aşamaları boyunca sürekli olarak güncellenmesi ve seri üretimde kullanılacak olan fikstür/aparat ve takımlandırma için teknik resim yayını yapılmadan önce tamamlanmış olması hedeflenmiştir.

HTEA ekibinin; analizin yürütülmesi, geliştirme/iyileştirme önerilerinin sunulması ve uygulanması konusunda hangi sınırlar içerisinde kalması gerektiği analiz öncesinde net olarak tanımlanmıştır. Buna göre;

1. Ekibin sorumlulukları yalnızca analizin yürütülmesi ile sınırlı kalmamış, geliştirme/iyileştirme önerilerinin uygulanması sorumluluğu da kendilerine verilmiştir.

2. Müşteri firma tarafından bildirilen zaman planı doğrultusunda, analizin tamamlandıktan sonra ilgili teknik resimlerin yayınlanması için hedef tarih olarak 2006 yılının 34.haftası belirlenmiştir. Ekibin bu tarihe kadar geçen 6 aylık süre içerisinde analizi tamamlaması hedeflenmiştir. Bu arada her üç haftada bir periyodik olarak toplanılması karara bağlanmıştır.

3. Ekip, sıra dışı bir durum ile karşılaşırsa üst yönetimi bilgilendirecek ve alınacak olan karar doğrultusunda hareket edecektir.

4. Analizin kapsamı net olarak tanımlanmış ve bir iç yazışma ile ilgili bölümlere duyurulmuştur.

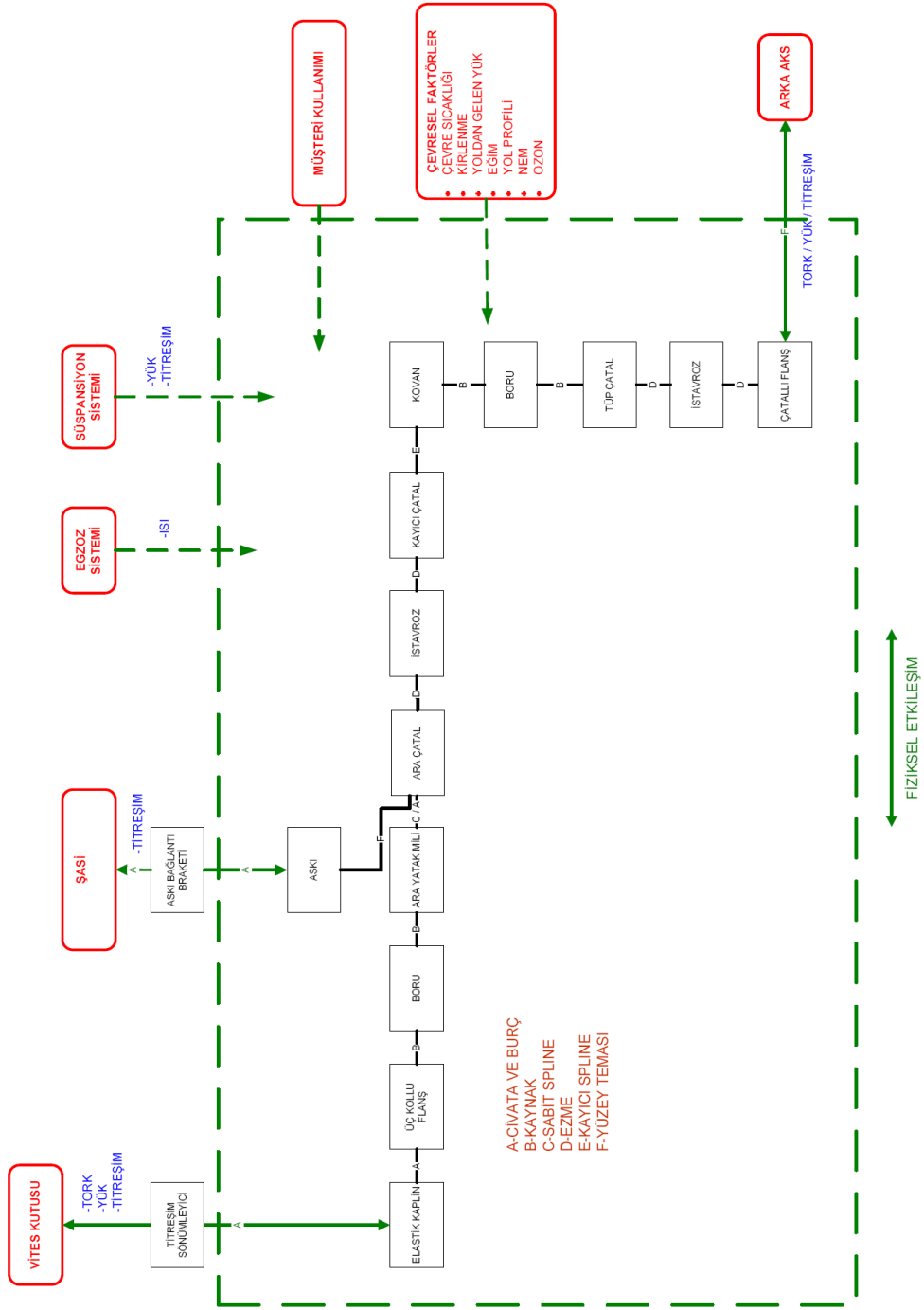
4.6. Uygulamannın Girdileri

Tasarım HTEA'nin girdileri olarak aşağıda belirtilen maddeler değerlendirilmiştir.

1. Müşteri firmanın tasarım hedefleri (dayanıklılık, ömür, ağırlık, maliyet v.s.)
2. Müşteri firmanın kalite hedefleri (maksimum giriş kalite kontrol iadesi, maksimum garanti kapsamındaki servis iadesi v.s.)
3. Konsept tasarım detayları (3 boyutlu katı modeller, sanal analizler, boyutlandırma ve toleranslandırma çalışmaları)
4. Pazar araştırma raporları
5. Müşteri firma standartları
6. Tasarım doğrulama ölçütleri
7. Benzer ürün kıyaslamaları
8. Benzer ürünlere ait kalite şikayetleri
9. Benzer ürünlere ait düzeltici ve önleyici faaliyet raporları
10. Benzer ürünlere ait iç şikayet/öneri ve raporlamalar
11. Benzer ürünlere ait geçmiş Tasarım HTEA dokümanları
12. Benzer ürünlere ait geçmiş tasarım gözden geçirme dokümanları
13. Benzer ürünlere ait geçmiş tasarım doğrulama planları
14. Müşteri firmaya yapılan geçmiş ziyaretler ve görüşmelere ait raporlar
15. Servislere yapılan geçmiş ziyaretler ve görüşmelere ait raporlar
16. Sözleşmenin gözden geçirilmesine ait kayıtlar
17. Ekip fizibilite değerlendirme raporu

Tasarım HTEA'nin başlangıcında Sınır Diyagramı hazırlanmıştır. Böylelikle; analizin kapsamı tüm ekip için net olarak görselleştirilerek ekibin kapsamdan uzaklaşması engellenmiştir. Hazırlanmış olan Sınır Diyagramı Şekil 4.4'te gösterilmektedir.

Sınır Diyagramı'nın ardından P-Diyagramı hazırlanarak; tasarım girdileri ideal fonksiyonlara dönüştürülürken, ortaya çıkabilecek kontrol faktörleri, gürültü faktörleri ve hataların belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.4: Sınır Diyagramı

Değişkenler; beyin fırtınası yapılarak beş temel gürültü kaynağına göre aşağıdaki gruplar içerisinde incelenmiştir.

1. Parçadan parçaya değişkenlik (G1)
2. Zaman içerisinde oluşan değişiklikler (G2)
3. Müşteri kullanımı (G3)
4. Dış çevre (G4)
5. Sistem etkileşimleri (G5)

Bu gruplar aşağıda detaylandırılmaktadır.

1. Parçadan parçaya değişkenlik
 - Boşluk
 - Balanssızlık
 - Gres miktarı
 - Mafsal sıklığı
 - Kayıcı grup çekme kuvveti
2. Zaman içerisinde oluşan değişiklikler
 - Aşınma
 - Yırtılma
 - Deformasyon
 - Mafsal sıklığının azalması
 - Sıkma torkunun azalması
 - Gres kaybı
 - Korozyon
3. Müşteri Kullanımı
 - Aşırı off-road kullanımı

- Aşırı uzun yol kullanımı
- Müşteri kullanma çevrimi
- Çok sık ivmelenme/frenleme
- Aşırı yükleme
- Son kullanıcı tarafından yapılan modifikasyonlar

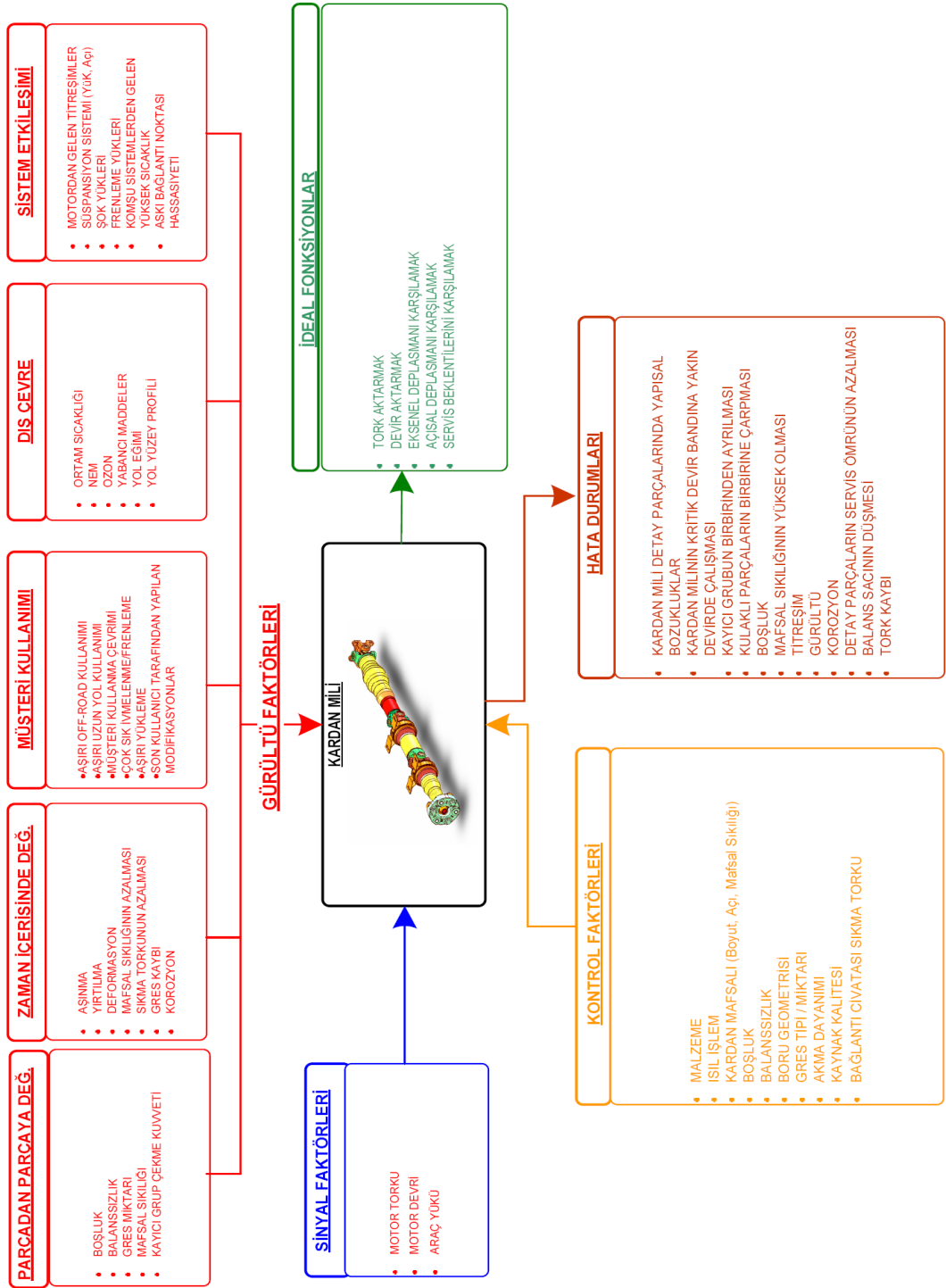
4. Dış çevre

- Ortam sıcaklığı
- Nem
- Ozon
- Yabancı maddeler
- Yol eğimi
- Yol yüzey profili

5. Sistem etkileşimi

- Motordan gelen titreşimler
- Süspansiyon sistemi (yük, açı)
- Şok yükleri
- Frenleme yükleri
- Komşu sistemlerden gelen yüksek sıcaklık
- Askı bağlantı noktası hassasiyeti

Gürültü faktörlerinin tanımlanmasının ardından bu faktörlerin yönetilmesi aşamasına geçilmiştir. Yönetim aşamasında tasarım kapasitesinin artırılması ve tasarımın gürültü faktörlerine daha az duyarlı hale getirilmesi yönünde bir strateji belirlenmiştir. Bunun temel nedeni; G3 grubuna giren müşteri kullanımı ile ilişkili gürültü faktörlerinin otomotiv sektörü için kontrol edilmesi ve ortadan kaldırılmasının pek mümkün olmamasıdır. Gürültü faktörlerinin canlandırılması için gerçekleştirilmesi gereken sanal ve fiziksel testler analizin ilerleyen aşamalarında irdelenmiştir. Gürültü



Şekil 4.5: P- Diyagramı

faktörlerinin tanımlanmasından sonra bu faktörleri karşılayacak olan kontrol faktörleri belirlenmiş ve son olarak kardan mili için ideal fonksiyonlar tanımlanmıştır.

P-Diyagramı üzerindeki kutular, Tasarım HTEA formunun belirli kolonlarına çıktı verir. İdeal fonksiyon kutusu; “Fonksiyon Kolonu”, hata durumları; “Olası Hata Türleri”, kontrol faktörleri; “Mevcut Tasarım Kontrolleri” ve gürültü faktörleri de; “Hata Bazında Nedenler” kolonları hazırlanırken dikkate alınmıştır.

Analiz kapsamında hazırlanmış olan P-Diyagramı Şekil 4.5'ten görülebilir.

4.7. Uygulamanın Aşamaları

Analiz ekibinin belirlenmesi, analizin sınırlarının tanımlanması, Sınır Diyagramı ve P Diyagramının hazırlanmasının ardından; Tasarım HTEA çalışmaları 4 temel uygulama adımı içerisinde yürütülmüştür. Birinci adımda; öncelikle fonksiyonlar tanımlanmış ve bu fonksiyonlarda ortaya çıkabilecek olası hata türleri öngörülmüştür. Daha sonra her bir hata türünün etkileri ve nedenleri belirlenerek, her hata türüne karşılık gelen etkiler için mevcut ve/veya uygulanması düşünülen kontroller form üzerinde belirtilmiştir.

İkinci adımda; hata türleri, şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik açısından puanlanarak, bu puanların çarpımından elde edilen Risk Öncelik Göstergesi (RÖG), hata türleri arasında bir önceliklendirme yapılmasında kullanılmıştır. Puanlandırma sırasında Üçüncü Bölüm içerisinde verilen tablolardan yararlanılmıştır.

Üçüncü adımda; RÖG değeri eşik değerinin üzerinde olmasa da geliştirme potansiyeli görülen noktalarda önlemler önerilmiş, ilgili aksiyonlar ve bu aksiyonların sorumluları ile hedef tamamlanma tarihleri tanımlanmıştır.

Dördüncü adımda ise; RÖG puanlarına göre risk değerlendirmesi yapılarak analiz ekibinin riski yüksek olan noktalara odaklanması sağlanmıştır.

Analizin başlangıcında; ekibi tanımlayan ve analizin türünü, seviyesini, numarasını, anahtar tarih ve hazırlanma tarihini veren kapak sayfası doldurulmuştur. Konu kapak sayfası Şekil 4.6’da gösterilmektedir.

FİRMA: TIRSAN KARDAN A.Ş.
BÖLÜM: ÜRÜN GELİŞTİRME
PROJE No:
HTEA TÜRÜ: TASARIM
HTEA No: 6/014
HTEA SEVİYESİ: ALT SİSTEM
ÜRÜN: KARDAN MİLİ
TASARIM SORUMLULUĞU: FORD / TRS
HAZIRLAYAN: K.TASAN
MODEL YILI: 2007
ANAHTAR TARİH: 24.08.2006
ÇEKİRDEK EKİP:
K.TASAN(ÜG/ARGE)/A.SAKRAK(KALİTE)/E.GUNERİ(TEST)/I.HASSAN(MONTAJ)/M.CONKU(ÜRETİM)/M.KAYI (SERVIS)/M.CANDAS(SATINALMA)/G.GIRAY(SATIŞ)

POZİSYONU: ÜRÜN GELİŞTİRME
ve ARGE MÜDÜRÜ
Telefon:
ARAÇ PROGRAMI: Ford Transit
HTEA TARİHİ: 06.01.2006
REVİZYON: 26.05.2006

Şekil 4.6: Tasarım HTEA Kapak Sayfası

4.7.1. Birinci Uygulama Adımı

Birinci adımda öncelikle, tanımlanmış olan fonksiyonlarda ortaya çıkabilecek olası hata türleri öngörülmüştür. Daha sonra her bir hata türünün olası etkileri ve nedenleri incelenerek her hata türüne karşılık gelen etkiler için mevcut ve/veya uygulanması düşünülen kontroller belirtilmiştir.

Hata türleri listelenirken, Tasarım HTEA girdileri referans alınarak özellikle aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır;

- Tasarım, ideal fonksiyonlarını yerine getirirken hangi şekillerde hata verebilir?
- Tasarım nerede, nasıl ve hangi çevresel koşullar altında çalışacak?
- Tasarımın bir üst sistem olan aktarma organları sistemi ve araç ile etkileşimleri neler olabilir?

Hata etkileri belirlenmeye çalışılırken; detay parçalar, üst sistem olan aktarma organları sistemi ve araç ayrıca müşteriler (araç üreticisi, yetkili servis, son kullanıcı) açısından etkiler değerlendirilmiştir. Bu amaçla da aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır.

- Detay parçalarının fonksiyonları nasıl etkilenir?
- Üst sistem olan aktarma organları sisteminin fonksiyonları nasıl etkilenir?
- Aracın operasyon, sürüş ve emniyeti nasıl etkilenir?
- Müşteri neleri görebilir, hissedebilir veya yaşayabilir?

Mevcut durumda uygulanan tasarım kontrolleri önleyici ve keşfedici kontroller olarak iki gruba ayrılmış ve ilgili kontrolün yanına; önleyici ise (Ö), keşfedici ise (K) tanımlaması yapılmıştır.

Tasarım kontrollerinin belirlenmesi için tüm geçmiş kontrol yöntemleri listelenmiştir. Bu aşamada referans olarak; geçmiş tasarım HTEA çalışmaları, tasarım doğrulama planları ve güvenilirlik ve robustluk kontrol listelerinin yanı sıra, müşteri spesifikasyonları referans alınmıştır.

4.7.2. İkinci Uygulama Adımı

İkinci uygulama adımında; hata türleri, şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik açısından puanlandırılarak bu puanların çarpımından Risk Öncelik Göstergesi (RÖG) değerleri elde edilmiştir. Puanlandırma sırasında, Üçüncü Bölüm içerisinde verilen tablolardan yararlanılmıştır. RÖG değeri eşik değerinin üzerinde olmasa da geliştirme potansiyeli görülen noktalarda; aksiyonlar, sorumluları ve hedef tarihler tanımlanmıştır.

Şiddet puanlandırması yapılırken; bir hata türünün olası etkileri ayrı ayrı puanlanarak “Etkiler Kolonuna” yazılmış ve bu etkiler arasında en ciddi olanını yaratacak olan etkiye ait değer “Şiddet Kolonuna” girilmiştir. Ürünün ana fonksiyonu ile ilişkili olan hata türlerinde şiddet değerinin mutlaka 8 veya üzerinde verilmesi gerekir. Her bir hata türü için yalnızca tek bir şiddet değeri tanımlanmıştır.

Tasarım HTEA çalışmaları sırasında; olasılık ve keşfedilebilirlik puanı ne olursa olsun, şiddet puanı 9 ve üzeri olan veya şiddet puanı 5–8 arasında iken olasılık puanları 4 ve üzeri olan tüm hata türlerine özel ilgi göstermelidir. Söz konusu hata türleri ürünün potansiyel özel karakteristikler listesine çıktı vermektedir. Özel karakteristikler; kritik ve önemli olarak iki ana gruba ayrılabilir. Kritik karakteristikler; hatalı olmaları durumunda, ürün güvenliğini tehlikeye sokacak veya yasa ve yönetmeliklere (fren,

direksiyon kontrolü, emisyon, gürültü gibi) uyumsuzluk yaratacak karakteristiklerdir. Önemli karakteristikler ise; ürünün ana fonksiyonları ile direkt ilişkili olan ve önemli müşteri memnuniyetsizliği yaratabilecek karakteristiklerdir. Söz konusu karakteristikler teknik resim ve dokümanlar üzerinde özel semboller kullanılarak gösterilirler.

Analiz çalışması sırasında, Ford Failure Mode and Effect Analysis FMEA Handbook (with Robustness Linkages) referans alınarak; potansiyel kritik karakteristiklerin sınıflandırılmasında Tablo 4.1’de verilen ölçütler kullanılmıştır.

Tablo 4.1: Tasarım HTEA-Potansiyel Özel Karakteristik Sınıflandırması

Sınıflandırma	Özel Karakteristik Türü	Ölçüt
YC	Potansiyel Kritik Karakteristik	Şiddet Puanı ≥ 9
YS	Potansiyel Önemli Karakteristik	$5 \leq \text{Şiddet Puanı} \leq 8$ ve $4 \leq \text{Olasılık Puanı} \leq 10$

Her bir hata türü için olası nedenler araştırılırken aşağıdaki soruların yanıtları göz önünde bulundurulmuştur.

- Benzer ürünlerin servis ve saha deneyimleri nedir?
- Analize konu olan tasarım mevcut bir tasarımın benzeri midir?
- Eğer benzeri ise; bir önceki tasarımdan farklılıkları nelerdir?
- Eğer benzeri değil ise; bir önceki tasarımdan radikal farklılıkları nelerdir?
- Tasarımın uygulama şekli değiştirilmiş midir?
- Çevresel değişiklikler nelerdir?

- Güvenilirlik gibi bir mühendislik analizi, uygulama için beklenen olasılık puanlarının öngörülebilmesi açısından kullanılmış mıdır?
- Önleyici kontroller uygulanmakta mıdır?

Tasarım kontrollerinin etkinlik dereceleri öngörülürken; kontroller aşağıdaki kategori başlıkları altında yüksekten düşüğe doğru listelenmeye çalışılmıştır.

1. Tasarım analiz yöntemleri

- Sonlu elemanlar analizi gibi kanıtlanmış modelleme ve simülasyonlar
- Boyutsal ve geometrik toleranslandırma çalışmaları
- Tasarım gözden geçirme çalışmaları

2. Test yöntemleri

- Deney tasarımı
- Prototipler veya ön seri üretimler üzerinde yapılan testler
- Araç seviyesi testler (tasarım geçerli kılma testleri)

3. Test edilmek üzere planlanmış prototip sayıları

- İstatistiksel olarak geçerli bir prototip sayısı
- Düşük sayı (istatistiksel olarak tatmin edici değil)

4. Benzer tasarımlardan kazanılmış olan deneyimler

5. Tasarım kontrol uygulamasının zamanlaması

- Tasarım konsept aşamasının başında
- Prototip üretim aşamasında
- Mühendislik ve proses tasarım onayının verilmesinden hemen önce

FMEA-Pro yazılımı kullanılarak hazırlanan Tasarım HTEA dokümanları, standart form sayfaları formatında Tablo 4.2 içerisinde verilmektedir.

Tablo 4.2: Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	C	Mercut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R S O D	R R R S O D	% A z a R R Ö G a
1. MOTORVİTES KUTUSU AKUPLESİ İLE DİFERANSİYEL ARAŞINDA TORK AKTARIMAK	KARDAN MILİ DETAY PARÇALARINDA YAPISAL BOZUKLUKLAR (ASINMA/ÇATLAMA/ KIRILMA)	TORK AKTARMAMA (AÜ/SK) (8)	8	Y S	UYGUN OLMAYAN MALZEME SECİMİ	4	KARDAN MILİ BOYUTLANDIRMA ANALİZİ (Ö) KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö) SONLU ELEMANLAR ANALİZİ (Ö) İSTAVROZ AKMA DAYANIMI TESTİ (K) KARDAN MILİ AKMA DAYANIMI TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DURKALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	96	GEREKİKSİZ					

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Şif	Sf	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R S	R R R S	R R R S	R R R S	% A za l t m a	
		TORK AKTARMA YETENEGİNİN AZALMASI (AÜ/SK) (7)			Y S MALZEME SERTLİK DEĞERİNİN DÜŞÜK BELİRLENMESİ	4	ISTAVROZ AKMA DAYANIMI TESTİ (K) KARDAN MILI AKMA DAYANIMI TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILI ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	96	GEREKSSİZ								

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S O	R R D O	R R O G	% A za m a	
					MAKSİMUM GERİLME DEĞERİNİN YANLIŞ HESAPLANMASI	4	KARDAN MILİ BOYUTLANDIRMA ANALİZİ (Ö) SONLU ELEMANLAR ANALİZİ (Ö) İSTAVROZAKMA DAYANIMI TESTİ (K) KARDAN MILİ AKMA DAYANIMI TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	96	GEREKSSİZ							

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş	S	F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	Ki	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R	R	R	R	R	R	% A za it m a	
				Y	S	YETERSİZ İSTAVROZ TORK TAŞIMA KAPASİTESİ	4	KARDAN MILİ BOYUTLANDIRMA ANALİZİ (Ö) SONLU ELEMANLAR ANALİZİ (Ö) İSTAVROZ AKMA DAYANIMI TESTİ (K) KARDAN MILİ AKMA DAYANIMI TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	96	GEREKSİZ										
						ASIRI YÜKLEME	3	KARDAN MILİ BOYUTLANDIRMA ANALİZİ (Ö) UZUN YOL TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) TONAJ YASA/YÖNETMELİKLE Rİ (K)	2	48	GEREKSİZ										

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S	R R O	R R D	R R Ö	% A za it m a
		(AÜ/SK) (7) TITRESİM (AÜ/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AÜ/SK) (5)							MODAL ANALİZİN YAPILMASI	ÜRÜN GELİSTİRME BÖLÜMÜ/ 30.03.06	MODAL ANALİZ GERÇEKLEŞTİRİLDİ. ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE ARKA BORU GEOME TRİSİ DEĞİŞTİRİLDİ.	6	2	4	4	42,9
									ANALİZİN ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULANMASI	TRS - MÜŞTERİ FIRMA/ 28.04.06	ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRU LAMA YAPILDI. YENİ GEOME TRİ UYGUN.	7	2	3	4	50
				UYGUN OLMAYAN BORU BOYUTU (ÇAP/ET KALINLIĞI)	3	KRİTİK HİZ HESAPLAMASI (Ö) KARDAN MILİ BOYUTLANDIRMA ANALİZİ (Ö) VİTES KUTUSU/KARDAN MILİ/AKS GÜRÜLTÜ DEĞERLENDİRME TESTİ (K)	4	84	SANAL ORTAMDA KARDAN MILİ MODAL ANALİZİN YAPILMASI İÇİN YAZILIM ARAŞTIRILMASI	ÜRÜN GELİSTİRME - BİLGİ İŞLEM BÖLÜMLERİ/ 27.01.06	ARAŞTIRMA TAMAMLANDI. HYPERWORKS YAZILIM I DEVREYE ALINDI.	7	2	4	5	33,3

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş	S F	Hata Nedeni	C	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R R R R R R R R	R R R R R R R R R R	% A Za m a					
							ASIRI HIZ TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)			MODAL ANALİZİN YAPILMASI	ÜRÜN GELİSTİRME BÖLÜMÜ / 30.03.06	MODAL ANALİZ GERÇEKLEŞTİRİLDİ. ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE ARKA BORU GEOME TRİSİ DEĞİŞTİRİLDİ.	6	2	4	4	4	2	8	9
										ANALİZİN ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULANMASI	TRS - MÜŞTERİ FIRMA / 28.04.06	ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRU LAMA YAPILDI .YENİ GEOME TRİ UYGUN.	7	2	3	4	2			
							2 AKTARMA ORGANLARI YERLEŞİM ÇALIŞMASI (Ö) TORSİYONEL TITRESİM HESABI (Ö) UZUN YOL TESTİ (K)	2	28	GEREKSSİZ										
							UYGULAMA İÇİN ÇALIŞMA ACISININ FAZLA OLMASI													

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/ Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R R R	R R R R R	% A za l t m a	
					SATIS SONRASI SON KULLANICI TARAFINDAN YAPILAN MODIFIKASYONLAR (Tekerlek, lastik, arka süspansiyon bileşenleri)	3	TORSİYONEL TITRESİM HESABI (Ö) VİTES KUTUSU/KARDAN MILI/AKS GÜRLÜTÜ DEĞERLENDİRME TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	4	84	GEREKSSİZ						
					KARDAN MILİ ASKI BAĞLANTISININ DİNAMİK HAREKETLERE KARŞI ÇOK HASSAS OLMASI	3	VİTES KUTUSU/KARDAN MILI/AKS GÜRLÜTÜ DEĞERLENDİRME TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	4	84	SANAL ORTAMDA KARDAN MILI MODAL ANALİZİNİ YAPILMASI İÇİN YAZILIM ARAŞTIRILMASI	ÜRÜN GELİSTİRME - BİLGİ İŞLEM BÖLÜMLERİ / 27.01.06	ARAŞTIRMA TAMAMLANDI. HYPERWORKS YAZILIM DEVREYE ALINDI.	7 2 4 5 6	33 ,3		
										MODAL ANALİZİN YAPILMASI	ÜRÜN GELİSTİRME BÖLÜMÜ / 30.03.06	MODAL ANALİZ GEÇERLENDİRİLDİ. ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE ARKA BORU GEOME TRİSİ DEĞİŞTİRİLDİ.	6 2 4 4 8	42 ,9		

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	Ri S	Ri O	Ri D	Ri Ö	Ri G	% A za l t m a
3. ARKA SÜSPANSİYON HAREKETİNDEN KAYNAKLANAN EKSENEL DEPLASMANI KARŞILAMAK	KAYICI GRUBU DETAY PARÇALARININ BİRBİRİNDEN AYRILMASI	TORK AKTARMAMA (AÜ/SK)	8	Y S	YETERSİZ KAYICI GRUP MAKSİMUM KAYMA BOYU	4	AKTARMA ORGANLARI YERLEŞİM ÇALIŞMASI (Ö) KARDAN MILİNİN APAC ÜSTÜ UYGULAMASI (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	64	ANALİZİN GEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULANMASI	TRS - MÜŞTERİ FIRMA / 28.04.06	GEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULAMA YAPILDI .YENİ GEOME TRI UYGUN.	7	2	3	4	2	50
					ARKA SÜSPANSİYON HAREKETİNİN YANLIS BELİRLENMESİ	3	AKTARMA ORGANLARI YERLEŞİM ÇALIŞMASI (Ö) KARDAN MILİNİN APAC ÜSTÜ UYGULAMASI (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	48	AKTARMA ORGANLARI YERLEŞİM ÇALIŞMASI SONUÇLARININ MÜŞTERİ FIRMADAN İSTENMESİ	ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 20.01.06	SONUÇLAR İSTENDİ UYGUN.	8	2	2	3	2	33,3

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R S	R R R S	R R R S	% A za it m a
4. ARKA SÜSPANSİYON HAREKETİNDEN KAYNAKLANAN AÇISAL DEPLASMANI KARŞILAMAK	EN EKSTREM DURUMDA KARDAN MILİ KULAKLI DETAY PARÇALARININ BİRBİRİNE ÇARPMASI	KULAKLI PARÇALARDA AŞINMA/ ÇATLAMA (AÜ/SK) (7) RULMAN YÜZEYİNDE AŞINMA (AÜ/SK) (4) TİTRESİM (AÜ/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AÜ/SK) (5)	7	YETERSİZ MAKSİMUM MAFSAL AÇISI	4	AKTARMA ORGANLARI AÇI ÇALIŞMASI (Ö) KATI MODELLEME (Ö) MAFSAL AÇISI SİMÜLYONU (K) PROTOTİP ÜRETİMDE MAFSAL AÇISI KONTROLÜ (K) KARDAN MILİNİN ARACI ÜSTÜ UYGULAMASI (K)	56	AKTARMA ORGANLARI YERLEŞİM ÇALIŞMASI SONUÇLARININ MÜSTERİ FİRMADAN İSTENMESİ	ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ/ 20.01.06	SONUÇLAR İSTENDİ. UYGUN.	7	3	2	25
5. SERVİS BEKLENTİLERİNİ KARŞILAMAK (DAYANIKLILIK/KONFOR/ÇEVRE)	İSTAVROZ RULMANINDA AŞIRI AŞINMA/BOŞLUK	TİTRESİM (AÜ/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AÜ/SK) (5) GRES KAYBI (AÜ/SK) (5) İSTAVROZ İÇİNE SU/KIR/TOZ/ÇA	6	YANLIŞ KEÇE MALZEME SEÇİMİ	4	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	96	ÇAMUR TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ/ 28.04.06	DEVREYE ALINDI. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	6	4	2	50
		TORK AKTARMA YETENEGİNİN AZALMASI (AÜ/SK) (7)		ARKA SUSPANSİYON HAREKETİNİN YANLIŞ BELİRLENMESİ	2	KARDAN MILİNİN ARACI ÜSTÜ UYGULAMASI (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	28	GEREKSSİZ						

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S	R R O	R R Ö G	% A za it im a	
		MUR VB.YABANCI MADELERİN GIRMESİ (AÜ/SK) (4)					UZUN YOL TESTİ (K)			GRES KAYIP TESTİNİN UYGULAN MASI	TEST BÖLÜMÜ / 30.03.06	TEST GERÇE KLEŞTİ RILDI. UYGUN	6	4	2	4	50
		ISTAVROZ MUYLUSUNDA KOROZYON (AÜ/SK) (3)			KARSILIKLI ÇALISAN PARÇALAR ARASINDA ASIRI HERTZ KONTAK BASINCININ OLUŞMASI	3	HERTZ KONTAK BASINCI HESABI (Ö) YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	54	GEREKSİZ							
		ISTAVROZ SERVIS ÖMRÜNÜN AZALMASI (AÜ/SK) (6)			YANLIŞ GRES SEÇİMİ	2	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	36	GEREKSİZ							

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R R R S	R R R R R S	% A za it m a	
					YANLIŞ ISIL İŞLEM SEÇİMİ	3	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö) BUMP TESTİ /KARDAN MILİ ŞOK TESTİ (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	54	GEREKSSİZ						
					SERVISLERDE UYGUN OLMAYAN GRESİN KULLANILMASI	3	ARAÇ SERVİS EL KİTAPÇIĞI (Ö) UZUN YOL TESTİ (K)	4	72	MÜŞTERİ FİRMA SERVİS RİNE DÖNÜK BÖLÜMLE BİLGİLENDİRME TOPLANTI Sİ DÜZENLENMESİ	ÜRÜN GELİŞTİRME SERVİS BÖLÜMLE 30.03.2006	TOPLAN Tİ DÜZENL ENDİ	6 2 4 4	4 4 8 3	33	
					YAĞLAMAMA / HATALI YAĞLAMA PERİYODU	3	ARAÇ SERVİS EL KİTAPÇIĞI (Ö) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	4	72	MÜŞTERİ FİRMA SERVİS RİNE DÖNÜK BÖLÜMLE BİLGİLENDİRME TOPLANTI Sİ DÜZENLENMESİ	ÜRÜN GELİŞTİRME SERVİS BÖLÜMLE 30.03.2006	TOPLAN Tİ DÜZENL ENDİ	6 2 4 4	4 4 8 3	33	
					DÜZENSİZ YAĞLAMA PERİYODU	3	ARAÇ SERVİS EL KİTAPÇIĞI (Ö) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K)	4	72	MÜŞTERİ FİRMA SERVİS RİNE DÖNÜK	ÜRÜN GELİŞTİRME SERVİS BÖLÜMLE	TOPLAN Tİ DÜZENL ENDİ	6 2 4 4	4 4 8 3	33	

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	Q	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sonunlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S	R R D	R R O	R R G	% A za l t m a
							UZUN YOL TESTİ (K)			BİLGİLENDİRME TOPLANTI Sİ DÜZENLENMESİ	Ri / 30.03.06						
					ÇEVRE SİSTEMLERDEN EN GELEN YÜKSEK SICAKLIK	2	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	5	60	KARDAN MILİNİN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASI Nİ SİMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SICAK BAŞLANGIÇ TESTİ)	ÜRÜN GELİŞTİRME - TAMAMLANDI. İLK PLANDA UYGUN. ARAÇ ÜSTÜ SICAKLIK ÖLÇÜM SONUÇLARI BEKLENMEKTE.	ARAŞTI RMA TAMAMLANDI. İLK PLANDA UYGUN. ARAÇ ÜSTÜ SICAKLIK ÖLÇÜM SONUÇLARI BEKLENMEKTE.	6	2	4	8	20
										ARAÇ ÜSTÜ SICAKLIK ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI	MÜŞTERİ FİRMA / 28.04.06	ÖLÇÜM GERÇEKLEŞTİRİLDİ. KEÇE MALZEME MESİ DEĞİŞTİRİLEBİLİR SIKAKLI DAYANI MI ARTTIRILDI.	5	2	3	0	50

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş	S	Hata Nedeni	Q	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R	R	R	R	R	% A za İt m a
					DİŞ ÇEVRE SICAKLIĞININ ÇOK DÜŞÜK OLMASI	2	UZUN YOL TESTİ (K)	5	60	KARDAN MILİNİN DÜŞÜK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASI NI SİMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SOGUK BAŞLANGI Ç TESTİ)	ÜRÜN GELİSTİRME - KALİTE TEST - SATINALMA BÖLÜMLE Rİ/ 28.04.06	DEVRE YE ALINDI. TEST GERÇE KLEŞTİ RLDİ. UYGUN.	6	2	3	3	3	40
										ARAÇ ÜSTÜ SICAKLIK ÖLÇÜMLE RİNİN YAPILMASI	MÜŞTERİ FİRMA/ 28.04.06	ÖLÇÜM GERÇE KLEŞTİ RLDİ. KECE MALZE MESİ DEĞİŞTİ RILERE K SICAKLI K DAYANI MI ARTTIRI LDI.	5	2	3	3	0	50

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S	R R O	R R D	R R C	% A za l t m a
					YÜKSEK BASINÇLI SU JETİ İLE KARDAN MILİNİN YIKANMASI	2	ARAÇ SERVİSEL KİTAPÇIĞI (Ö) UZUN YOL TESTİ (K)	5	60	MÜŞTERİ FİRMA SERVİSLE RİNE DÖNÜK BİLGİLENDİRME TOPLANTI DÜZENLENMESİ	ÜRÜN GELİŞTİRME SERVİS BÖLÜMLERİ/ 30.03.06	TOPLAN TIL DÜZENL EN Dİ	6	1	5	3	50
	MAFSALIN BOŞLUKLU OLMASI	TITRESİM (AÜ/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AÜ/SK) (5) İSTAVROZ SERVİS ÖMRÜNÜN AZALMASI (AÜ/SK) (6)	6		KARŞILIKLI ÇALISAN PARÇALARIN YANLIŞ TOLERANSLA NDIRILMASI	3	TOLERANS ÇALIŞMASI (Ö) HERTZ KONTAK BASINCI HESABI (Ö) MAFSAL SIKILIK TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) VİTES KUTUSU/KARDAN MILİ/AKS GÜRÜLTÜ DEĞERLENDİRME TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	4	72	GEREKİKSİZ							

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R S O	R D	R Ö G	% A Z a m a	
	MAFSAL SIKLIĞININ YÜKSEK OLMASI	TITRESİM (AU/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AU/SK) (5) AŞIRI ISINMA (AU/SK) (4) GRES KAYBI (AU/SK) (5) İSTAVROZ SERVİS ÖMRÜNÜN AZALMASI (AU/SK) (6)	6	Y S	KARSILIKLI ÇALIŞAN PARÇALARIN YANLIŞ TOLERANSLA NDIRILMASI	3	TOLERANS ÇALIŞMASI (Ö) HERTZ KONTAKT BASINCI HESABI (Ö) MAFSAL SIKLIK TESTI (K) YORULMA TESTI (K) UZUN YOL TESTI (K)	4	72	GEREKSSİZ							
					KARSILIKLI ÇALIŞAN PARÇALAR ARAŞINDA AŞIRI HERTZ KONTAKT BASINCININ OLUŞMASI	3	HERTZ KONTAKT BASINCI HESABI (Ö) YORULMA TESTI (K) BUMP TESTI (KARDAN MILI ŞOK TESTI) (K) DUR KALK TESTI (K) UZUN YOL TESTI (K)	3	54	GEREKSSİZ							
	KAYICI ÇATAL SPLINE PROFİLİNDE AŞIRI DERECEDE AŞINMA/BOŞLUK	TITRESİM (AU/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AU/SK) (5) KAYICI GRUP İÇERİSİNE	6		YANLIŞ KEÇE MALZEMESİ SEÇİMİ	3	TOLERANS ÇALIŞMASI (Ö) KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö)	4	72	KEÇE TEDARIKÇI SINDE OZON TESTİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	SATINALMA BÖLÜMÜ / 30.03.06	TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	6	3	3	5	25

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R O D	R R O D	R R O D	% A za İt m a
		SU/KIR/TOZ/ÇAMUR GIRMESİ (AÜ/SK) (4) SPLINE YÜZEYLERİNDE KOROZYON OLUŞMASI (AÜ/SK) (3) KAYICI GRUPLARIN SERVIS ÖMRÜNÜN AZALMASI (AÜ/SK) (6)				BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)		ALTERNATİF MALZEMELERİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI	ÜRÜN GELİSTİRME BÖLÜMÜ / 27.01.06	ARAŞTIRILMAMAM TAMLANDI. İLK PLANDA UYGUN. ARAÇ ÜSTÜ SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ SONUÇLARI BEKLENMİYECEK.	6 2 4	6 2 4	6 2 4	4 33,3
				YANLIŞ TOLERANSLA NDIRMA	2	TOLERANS ÇALIŞMASI (Ö) KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö) KATI MODELLEME (Ö)	7 84	SPLINE ÇALIŞMASI NI SİMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI	ÜRÜN GELİSTİRME - KALİTE TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06	DEVREYE ALINDI. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	6 2 5	6 2 5	6 2 5	6 28,6
				YANLIŞ GRES SEÇİMİ	2	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3 36	GEREKSSİZ						

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R S	R R R S	R R R S	% A za l t m a		
					YANLIŞ ISIL İŞLEM SEÇİMİ	3	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) İSTAVROZ AKMA DAYANIM TESTİ (K) KARDAN MILİ AKMA DAYANIM TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	54	GEREKSSİZ				6	1	5	3	50
					KARDAN MILİNİN YÜKSEK BASINÇLI SU JETİ İLE YIKANMASI	2	ARAÇ SERVİS EL KİTAPÇIĞI (Ö) UZUN YOL TESTİ (K)	5	60	MÜŞTERİ FİRMA RİNE DÖNÜK BİLGİLENDİRME TOPLANTI Sİ DÜZENLENMESİ	ÜRÜN GELİŞTİRME SERVİS BÖLÜMLERİ / 30.03.06	TOPLAN TI DÜZENL EN Dİ						

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	Q	Mevcut Tasarım Kontroleri	K RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S	R R D	R R O	% A za it m a	
	KAYICI GRUP KAYMA KUVVETİNİN YUKSEK OLMASI	KARDAN MILİNİN ARACA MONTAJ ZORLUĞU (AÜ) (7) KARDAN MILİ TRANSMİSYON BAĞLANTILARI ÜZERİNE ASIRI YÜK GELMESİ (AÜ/SK) (4) DİFERANSİYEL BAĞLANTISINDAN YAĞ KAÇAĞI (SK) (5) KARDAN MILİ DETAY PARÇALARININ SERVİS ÖMRÜNÜN AZALMASI (AÜ/SK) (6)	7		UYGUN OLMAYAN SPLINE PROFİLİ BOŞLUK TASARIMI	3	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) PROTOTİP ÜRETİMİNDE KAYMA KUVVETİ KONTROLÜ (K) İLGİLİ G8D KALİTE RAPORLARININ GÖZDEN GEÇİRİLMESİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	84	GEREKSSİZ							
					KAYICI GRUP İÇERİSİNE SU/TOZ/KIRIÇ AMUR GİRMESİ	2	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) UZUN YOL TESTİ (K)	56	ÇAMUR TEST ÇİHAZININ DEVREYE ALINMASI	ÜRÜN GELİSTİRME - KALİTE TEST - SATINALMA BÖLÜMLE Rİ / 28.04.06	DEVREYE ALINDI. GERCEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.					50
	AŞINMAYA BAĞLI OLARAK ELASTİK KAPLIN POZİSYON	TİTRESİM (AÜ/SK) (5)	6		YANILIS GRES SEÇİMİ	5	UZUN YOL TESTİ (K)	60	GEREKSSİZ							

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş	S	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sonunlu/ Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R	R	R	R	R	% A za it m a
	KAYBI (KURU TEMAS)	GÜRÜLTÜ (AU/SK) (5) ELASTİK KAPLIN SERVİS ÖMÜRÜNÜN AZALMASI (AU/SK) (6)		Y	ELASTİK KAPLIN İÇERİSİNDEKİ GRES MİKTARININ YANLIŞ BELİRLENMESİ	4	UZUN YOL TESTİ (K)	3	72	ELASTİK KAPLIN ÜRETİCİSİ İLE TEMAS KURULAR AK TEYİD ALINMASI	SATINAL MA BÖLÜMÜ / 20.01.06	TEYİD ALINDI.	6	3	3	5	25	
					GRES KAYBI	3	UZUN YOL TESTİ (K)	4	72	GRES KAYIP TESTİNİN UYGULAN MASI	TEST BÖLÜMÜ / 30.03.06	TEST GERÇE KLEŞTİ RİLDİ. UYGUN	6	3	3	5	25	
					GRESİN İSİN MADAN DOLAYI BOZUNMASI	3	UZUN YOL TESTİ (K)	4	72	KARDAN MILİNİN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASI Nİ SİMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SICAK BAŞLANGI Ç TESTİ)	ÜRÜN GELİSTİR ME - KALİTE - TEST - SATINAL MA BÖLÜMLE Rİ / 28.04.06	DEVRE YE ALINDI. ARAÇ ÜSTÜ ÖLÇÜLE N MAKSİM UM SICAKLI KLARA GÖRE CİHAZ KAPASI TESİ UYGUN.	6	3	2	3	50	

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	Q	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S	R R O D	R R O G	% A za l t m a	
	BORU KAYNAK HATASI (KIRILMA, ÇATLAMA VB.)	BORUNUN MAFSALDAN AYRILMASI (AU/SK) (7) TORK AKTARMAMA (AU/SK) (8)	8		YANLIŞ KAYNAK PROSESİ SEÇİMİ	3	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) KAYNAK PARAMETRELERİ KONTROLÜ (K) KARDAN MILİ AKMA DAYANIMI TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	48	GEREKSSİZ							

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R S	R R R S	R R R S	R R R S	% A za l t m a	
		TORK AKTARMA YETENEGİNİN AZALMASI (AU/SK) (7)		Y S	YANLIŞ MALZEME SEÇİMİ	4	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö) KARDAN MILİ AKİMA DAYANIMI TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	64	GEREKSİZ								
					ASIRI YÜKLEME	3	KARDAN MILİ BOYUTLANDIRMA ANALİZİ (Ö) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	72	GEREKSİZ								

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	Q	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R S O D	R R R S O D	R R R S O D	% A z a m a	
	TORK KAYBI (ELASTİK KAPLIN CIVATA BAĞLANTISI)	TITRESİM (AÜ/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AÜ/SK) (5) KARDAN MILİNİN ELASTİK KAPLINDAN AYRILMASI (AÜ/SK) (7) TORK AKTARMA YETENEGİNİN AZALMASI (AÜ/SK) (7)	7	Y S	UYGUN OLMAYAN SIKMA TORKUNUN BELİRLENMESİ	4	TORK/SIKMA KUVVETİ TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) VİTES KUTUSU/KARDAN MILİ/AKS GÜRÜLTÜ DEĞERLENDİRME TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	56	GEREKSSİZ							
					YETERSİZ DİS BOYU BELİRLENMESİ	3	TORK/SIKMA KUVVETİ TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) VİTES KUTUSU/KARDAN MILİ/AKS GÜRÜLTÜ DEĞERLENDİRME TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	42	GEREKSSİZ							

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R R R S	R R R R R S	R R R R R S	R R R R R S	% A za it ma	
					BURCUN BURKULMASI	2	YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	28	GEREKSİZ								
	TORK KAYBI (ARAYATAK MİLİ CIVATA BAĞLANTISI)	TITRESİM (AU/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AU/SK) (5) ARKA KARDAN MİLİNİN ÖN KARDAN MİLİNDEN AYRILMASI (AU/SK) (7)	7	Y S S S S S	UYGUNSUZ SIKMA TORKU BELİRLENMESİ	4	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) VİTES KUTUSU/KARDAN MİLİ/AKS GÜRÜLTÜ DEĞERLENDİRME TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	56	GEREKSİZ								
		TORK AKTARMA YETENEGİNİN AZALMASI (AU/SK) (7)			YETERSİZ DİS BOYU BELİRLENMESİ	3	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	42	GEREKSİZ								

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Şifre	Siyasi	Hata Nedeni	Özellik	Mevcut Tasarım Kontrolleri	Kılganlık	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	Riç	Riç	Riç	Riç	Riç	Riç	% A za l t m a		
	CIVATADA YORULMA KIRILMASI (ELASTİK KAPLIN BAĞLANTI CIVATASI)	KARDAN MILİNİN ELASTİK KAPLINDAN AYRILMASI (AU/SK) (7) TORK AKTARMAMA (AU/SK) (8)	8	YS	CIVATA MALZEME KALİTESİNİN YANLIŞI BELİRLENMEMİŞİ	4	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) YORULMA TESTİ (K) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	64	GEREKİKSİZ											
	CIVATADA YORULMA KIRILMASI (ARA YATAK BAĞLANTI CIVATASI)	ARKA KARDAN MILİNİN ÖN KARDAN MILİNDE AYRILMASI (AU/SK) (7) TORK AKTARMAMA (AU/SK) (8)	8	YS	CIVATA MALZEME KALİTESİNİN YANLIŞI BELİRLENMEMİŞİ	4	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) YORULMA TESTİ (K) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) UZUN YOL TESTİ (K)	2	64	GEREKİKSİZ											

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S	R R D	R R Ö	% A za it m a
	ÇATALLI KAYICI MILDE DEFORMASYON / ÇATLAMA / KIRILMA	TORK AKTARMAMA (AU/SK) (8)	8	YANLIŞ MALZEME SEÇİMİ	3	KARDAN MILİ AKI MA DAYANIMI TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	72	GEREKSSZ						
		TORK AKTARMA YETENEGİNİN AZALMASI (AU/SK) (7)	/	YANLIŞ ISIL ISLEM SEÇİMİ (YÜZEY SERTLİĞİ, SERTLİK DERİNLİĞİ, ISIL ISLEM BOLGESİ)	4	KARDAN MILİ AKI MA DAYANIMI TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	96	GEREKSSZ						
			/	SPLINE İLE PROFİLİ İLE YÜZEY BİRLEŞİM RADYUSUNU N KÜÇÜK BELİRLENME Sİ	4	KARDAN MILİ AKI MA DAYANIMI TESTİ (K)	3	96	KANITLAN MİS TAŞARIML AR UZERİNDE N RADYUS KONTROL U	ÜRÜN GELİSTİR ME BÖLÜMÜ / 20.01.06	KONTR OL EDİLDİ, RADYU S 2mm ARTTIRI LACAK.	7	3	3	63,4

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	ROĞ	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R R S	R R R R S	% A za l t m a	
							YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)			BENZER ÜRÜN KARŞILAS TIRMALARI	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE BÖLÜMLE Rİ / 30.03.06	ARAŞTI RMA TAMAM LANDI. UYGUN.	8	3	3	25
	ARA YATAK MILİNDE DEFORMASYON / ÇATLAMA / KIRILMA	TORK AKTARMAMA (AÜ/SK) (8) TORK AKTARMA YETENEĞİNİN AZALMASI (AÜ/SK) (7)	8		YANLIŞ MALZEME SEÇİMİ	3	KARDAN MILİ AKI MA DAYANIMI TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	72	GEREK SİZ						
				/ S	YANLIŞ ISIL İŞLEM SEÇİMİ (YÜZEY)	4	KARDAN MILİ AKI MA DAYANIMI TESTİ (K)	3	96	GEREK SİZ						

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Şifre	Sf	Hata Nedeni	Özellik	Mevcut Tasarım Kontrolleri	KRÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	% Azalma	
					SERTLİĞİ, SERTLİK DERİNLİĞİ, ISIL İŞLEM BÖLGESİ)		YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)														
					SPLINE PROFİLİ İLE YÜZEY BİRLEŞİM RADYUSUNUN KÜÇÜK BELİRLENMESİ		KARDAN MILİ AKMA DAYANIMI TESTİ (K)	96	KANITLANMIS TASARIMLAR ÜZERİNDE RADYUS KONTROLÜ	ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 20.01.06	KONTRÖL EDİLDİ. RADYUS 5mm ARTTIRILACAK.	7	3	3	3					34	
							YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)		BENZER ÜRÜN KARSILAS TIRMALARI	ÜRÜN GELİŞTİRME KALİTE BÖLÜMLERİ / 30.03.06	ARAŞTIRILMA TAMAMLANDI. UYGUN.	8	3	3	2					25	

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş	S F	Hata Nedeni	Q	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R S	R R R S	R R R S	R R R S	% A za l t m a	
	KAYICI GRUP SPLINE PROFİLLERİ ARASINDA AŞIRI BOŞLUK (LASH)	KARDAN MILİNİN ARAÇ ÜZERİNE MONTAJI SİRASINDA KAYICI GRUBUN AYRILMASI (AÜ) (7) TİTRESİM (AÜ/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AÜ/SK) (5)	7	Y S	ASINMIS SPLINE PROFİLİ UYGUN OLMAYAN SPLINE AÇIKLIĞI SEÇİMİ	2	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	4	56	SPLINE ÇALIŞMASI NI SİMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE TEST - SATINALMA BÖLÜMLE R/ 28.04.06	DEVREYE ALINDI. TEST GERÇE KLEŞTİ RLDİ. UYGUN.	7	2	2	2	50	
				Y S		4	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİŞ DENEYİM (Ö) PROTOTİP ÜRETİMİNDE KONTROL (K) KARDAN MILİNİN ARAÇ ÜSTÜ UYGULAMASI (K) İLGİLİ G8D KALİTE RAPORLARININ GÖZDEN GEÇİRİLMESİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	84	GEREKSİZ								

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	Ri	Ri	Ri	Ri	Ri	Ri	% A za İt m a	
	BALANS SACININ DÜŞMESİ	TİTRESİM (AU/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AU/SK) (5)	5		BALANS SACI KAYNAK PROSESİNİN YANLIŞ SEÇİLMESİ	3	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) AŞIRI HIZ TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	45	GEREKSSİZ										
	BORU ÜZERİNDE KOROZYON	KÖTÜ GÖRÜNÜM (AU/SK) (4)	4		UYGUNSUZ YÜZEY KORUMA METODUNUN SEÇİMİ	3	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) TUZ TESTİ (K) BOYA YAPIŞMA TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	36	GEREKSSİZ										

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R R S	R R R S	R R R S	R R R S	% A Za It m a	
	ÜÇ KOLLU FLANS MERKEZLEME BURCUNUN HAVSASINDA KORUZYON	UYGUNSUZ MERKEZLEME BURCU YATAKLAMASI (AU/SK)(4) TITRESİM (AU/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AU/SK) (5)	5	5	UYGUNSUZ YÜZEY KORUMA METODUNUN SEÇİMİ	3	KANITLANMIS ÖNCEKİ TASARIMLARDAN EDİNİLMİS DENEYİM (Ö) UZUN YOL TESTİ (K)	3	45	GEREKSSİZ								
	ELASTİK KAPLIN KAUCUĞUNUN AŞINMASI/YIRTILMA SI /UZAMASI (YAY KATSAYISININ DEĞİŞİMİ)	TITRESİM (AU/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AU/SK) (5)	5	5	ELASTİK KAPLININ TORP T AŞIMA KAPASİTESİNİN YANLIŞ BELİRLENME SI	2	ELASTİK KAPLIN BURULMA TESTİ (K) ELASTİK KAPLIN EĞİLME TESTİ (K) ELASTİK KAPLIN YORULMA TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MİLİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	30	GEREKSSİZ								

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S	R R D	R R Ö G	% A Za İt m a	
					YANLIŞ ELASTİK KAPLIN KAÇUK MALZEME SEÇİMİ	3	ELASTİK KAPLIN BURULMA TESTİ (K) ELASTİK KAPLIN EGİLME TESTİ (K) ELASTİK KAPLIN YORULMA TESTİ (K) YORULMA TESTİ (K) DINAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	45	GEREKSSİZ							
					ÇEVRE SİSTEMLERD EN GELEN YÜKSEK SICAKLIK	3	ELASTİK KAPLIN SICAKLIK YASLANMA TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	45	GEREKSSİZ							

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontroleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alinan Aksiyon	R R R S	R R R S	R R R S	% A za it m a
	ASKI KAUCUĞUNUN ASINMASI/YIRTILMASI /UZAMASI (YAY KATSAYISININ DEĞİŞİMİ)	TITRESİM (AÜ/SK) (5) GÜRÜLTÜ (AÜ/SK) (5) ASKI KAUCUK ÖMRÜNÜN AZALMASI (AÜ/SK) (6)	6	ASKININ DÜĞÜM NOKTASI YAKININA YERLEŞTİRİLMESİ	2	ASKI DAYANIMI TESTİ (K) VİTES KUTUSU/KARDAN MILİ/AKS GÜRÜLTÜ DEĞERLENDİRME TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	24	GEREKSİZ	ÜRÜN GELİSTİRME						
		YANLIŞ KAUCUK MALZEME SEÇİMİ	3	ASKI DAYANIMI TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	3	ASKI DAYANIMI TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	54	GEREKSİZ							
		BITİŞİK PARÇALARDA N/GELEN ASIRI SICAKLIK	3	DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	4	DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K) BUMP TESTİ (KARDAN MILİ ŞOK TESTİ) (K) DUR KALK TESTİ (K) UZUN YOL TESTİ (K)	72	KARDAN MILİNİN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASI Nİ SİMÜLE EDEN CİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SICAK BAŞLANGI Ç TESTİ)	ÜRÜN GELİSTİRME - KALİTE TEST - SATINALMA BÖLÜMLE R/UM 28.04.06		DEVRE YE ALINDI. ARAÇ ÜSTÜ ÖLÇÜLE N MAKSİM UM SICAKLI KLARA GORE CİHAZ KAPASI TESİ UYGUN.	6 3 2 6	6 3 2 6	6 3 2 6	50
		DIŞ ÇEVRE DEN	3	DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K)	4	DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ (K)	72	KARDAN MILİNİN	ÜRÜN GELİSTİR		DEVRE YE				

Fonksiyon	Hata Türü	Hata Etkisi	Ş F	S F	Hata Nedeni	O	Mevcut Tasarım Kontrolleri	K	RÖG	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu/Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	R R S O D	R R R Ö G	% A za İt m a
					GELEN AŞIRI DÜŞÜK SICAKLIK		UZUN YOL TESTİ (K)			DÜŞÜK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASI NI SİMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SOĞUK BAŞLANGI Ç TESTİ)	ME - KALITE - TEST - SATINAL MA BÖLÜMLE Rİ / 28.04.06	ALINDI. TEST GERÇE KLEŞTİ RİLDİ. UYGUN.			

4.7.3. Üçüncü Uygulama Adımı

Üçüncü uygulama adımında; RÖG değeri eşik değerinin üzerinde olmasa da geliştirme potansiyeli görülen noktalarda önlemler önerilmiş, ilgili aksiyonlar ve bu aksiyonların sorumluları ile hedef tamamlanma tarihleri belirlenmiştir. Önerilen önlemlerin kısa ve net olarak tanımlanmasına özellikle dikkat edilmiştir.

Önerilen önlemlerin amacı; ilk hesaplamalar sonucunda elde edilen RÖG değerlerinin azaltılmasıdır. Bunun için; şiddet, olasılık ve/veya keşfedilebilirlik puanlarının düşürülmesi gereklidir. Bu aşamada özellikle tasarım değişikliklerinin irdelenmesi ve sanal/fiziksel test yeteneklerinin artırılması yoluna gidilmiştir. Bazı konularda fiziksel test yeteneklerinin artırılması ciddi bir yatırım gerektirdiği için ekip üst yönetimi bilgilendirerek onayını almıştır. Analizin başlangıcında sınırların belirlenmiş olması bu aşamada ekibin daha etkin çalışabilmesine olanak vermiştir. Özellikle yalnızca önlemlerin önerilmesinde değil, yürütülmesinde de tasarım HTEA ekibine sorumluluk verilmiş olması ayrıca sıra dışı durumlarda üst yönetimin onayının alınarak aksiyon alınması bu açıdan özellikle vurgulanmalıdır.

Bir HTEA çalışması çok iyi hazırlanmış olsa da; aksiyonların gerçekçi olarak ortaya konmaması ayrıca tamamlanması konusunda etkin bir izlemenin yapılmaması, analizin sağlayacağı yararları ciddi ölçüde azaltacaktır.

Ekip tarafından önerilen önlemleri, bu amaçla alınan aksiyonları ve bu aksiyonların hedef tarih ve sorumlularını, analiz sayfalarındaki referansları ile beraber veren özet tablo, Tablo 4.3 içerisinde detaylandırılmıştır. Olası hata türü için ekibin herhangi bir önlem önermediği durumlarda; “Önerilen Aksiyonlar” kolonuna “Gereksiz” ifadesi yazılmıştır. Burada amaçlanan; söz konusu hata türünün çalışmalar sırasında gözden kaçırılmamış olduğunun vurgulanmasıdır.

Tablo 4.3: Önerilen Önlemlere Karşı Alınan Aksiyonlar

Önerilen Önlemler	Ref. No	Alınan Aksiyon	Sorumlu / Tamamlanma Tarihi
1. GEREKSİZ	1.1.1		
	1.1.2		
	1.1.3		
	1.1.5		
	1.1.6		
	1.1.7		
	2.1.3		
	2.1.4		
	4.1.2		
	5.1.3		
	5.2.1		
	5.5.1		
	5.6.1		
	5.7.1		
	5.7.2		
	5.7.3		
5.8.1			
5.8.2			
5.8.3			
5.9.1			
5.9.2			
5.10.1			
5.11.1			
5.12.1			
5.12.2			

Tablo 4.3: Önerilen Önlemlere Karşı Alınan Aksiyonlar (Devam)

Önerilen Önlemler	Alınan Aksiyon		Sorumlu / Tamamlanma Tarihi
	Ref. No		
	5.13.1		
	5.13.2		
	5.14.2		
	5.15.1		
	5.16.1		
	5.17.1		
	5.18.3		
	5.19.1		
	5.19.2		
2. GEREKSİZ	5.3.2		
3. ÇAMUR TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI	5.1.1	1. DEVREYE ALINDI. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE - TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06
4. SPLINE ÇALIŞMASINI SIMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI	5.14.1	1. DEVREYE ALINDI. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE - TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06
5. GEREKSİZ	5.18.1		
6. GEREKSİZ	5.18.2		
7. KANITLANMIŞ TASARIMLAR ÜZERİNDEN RADYUS KONTROLÜ	5.13.3	1. KONTROL EDİLDİ. RADYUS 5mm ARTTIRILACAK.	ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 20.01.06
8. SPLINE ÇALIŞMASINI SIMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI	5.4.2	1. DEVREYE ALINDI. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE - TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06
9. KEÇE TEDARİKÇİSİNDE OZON TESTİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	5.4.1	1. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	SATINALMA BÖLÜMÜ / 30.03.06

Tablo 4.3: Önerilen Önlemlere Karşı Alınan Aksiyonlar (Devam)

Önerilen Önlemler	Ref. No	Alınan Aksiyon		Sorumlu / Tamamlanma Tarihi
		Ref. No	Aksiyon	
10. GEREKSİZ	5.4.3			
11. SANAL ORTAMDA KARDAN MILI MODAL ANALİZİNİN YAPILMASI İÇİN YAZILIM ARAŞTIRILMASI	2.1.5		1. ARAŞTIRMA TAMAMLANDI. HYPERWORKS YAZILIMI DEVREYE ALINDI.	ÜRÜN GELİŞTİRME - BİLGİ İŞLEM BÖLÜMLERİ / 27.01.06
12. MODAL ANALİZİN YAPILMASI	2.1.5		1. MODAL ANALİZ GERÇEKLEŞTİRİLDİ. ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE ARKA BORU GEOMETRİSİ DEĞİŞTİRİLDİ.	ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 30.03.06
13. ANALİZİN ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULANMASI	2.1.1		1. ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULAMA YAPILDI. YENİ GEOMETRİ UYGUN.	TRS - MÜŞTERİ FIRMA / 28.04.06
14. AKTARMA ORGANLARI YERLEŞİM ÇALIŞMASI SONUÇLARININ MÜŞTERİ FİRMADAN İSTENMESİ	4.1.1		1. SONUÇLAR İSTENDİ. UYGUN.	ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 20.01.06
15. GEREKSİZ	5.1.2			
16. GEREKSİZ	5.1.4			
17. KARDAN MILİNİN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASINI SİMÜLE EDEN TEST ÇİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SICAK BAŞLANGIÇ TESTİ)	5.1.8		1. ARAŞTIRMA TAMAMLANDI. İLK PLANDA UYGUN. ARAÇ ÜSTÜ SICAKLIK ÖLÇÜM SONUÇLARI BEKLENECEK.	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE - TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06
18. KARDAN MILİNİN DÜŞÜK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASINI SİMÜLE EDEN TEST ÇİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SOĞUK BAŞLANGIÇ TESTİ)	5.1.9		1. DEVREYE ALINDI. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE - TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06
19. GEREKSİZ				
20. GEREKSİZ	5.3.1			
21. GEREKSİZ	5.4.4			
22. KANITLANMIŞ TAŞARIMLAR ÜZERİNDEN RADYUS KONTROLÜ	5.12.3		1. KONTROL EDİLDİ. RADYUS 2mm ARTTIRILACAK.	ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 20.01.06
23. BENZER ÜRÜN KARŞILAŞTIRMALARI	5.12.3		1. ARAŞTIRMA TAMAMLANDI. UYGUN.	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE BÖLÜMLERİ / 30.03.06
24. KARDAN MILİNİN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASINI SİMÜLE EDEN TEST ÇİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SICAK BAŞLANGIÇ TESTİ)	5.6.4		1. DEVREYE ALINDI. ARAÇ ÜSTÜ ÖLÇÜLEN MAKSİMUM SICAKLIKLARA GÖRE CİHAZ KAPASİTESİ UYGUN.	ÜRÜN GELİŞTİRME - KALİTE - TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06

Tablo 4.3: Önerilen Önlemlere Karşı Alınan Aksiyonlar (Devam)

Önerilen Önlemler	Ref. No	Alınan Aksiyon	Sorumlu / Tamamlanma Tarihi
26. GRES KAYIP TESTİNİN UYGULANMASI	5.6.3	1. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN	TEST BÖLÜMÜ / 30.03.06
27. ÇAMUR TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI	5.5.2	1. DEVREYE ALINDI. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	ÜRÜN GELİSTİRME - KALİTE - TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06
28. KARDAN MILİNİN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASINI SİMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SICAK BAŞLANGIÇ TESTİ)	5.19.3	1. DEVREYE ALINDI. ARAÇ ÜSTÜ ÖLÇÜLEN MAKSİMUM SICAKLIKLARA GÖRE CİHAZ KAPASİTESİ UYGUN.	ÜRÜN GELİSTİRME - KALİTE - TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06
29. KARDAN MILİNİN DÜŞÜK SICAKLIK ALTINDA ÇALIŞMASINI SİMÜLE EDEN TEST CİHAZININ DEVREYE ALINMASI (SOGUK BAŞLANGIÇ TESTİ)	5.19.4	1. DEVREYE ALINDI. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN.	ÜRÜN GELİSTİRME - KALİTE - TEST - SATINALMA BÖLÜMLERİ / 28.04.06
30. ANALİZİN ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULANMASI	2.1.2	1. ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULAMA YAPILDI. YENİ GEOMETRİ UYGUN.	TRS - MÜŞTERİ FIRMA / 28.04.06
31. ANALİZİN ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULANMASI	2.1.5	1. ÇEKİÇ TESTİ İLE DOĞRULAMA YAPILDI. YENİ GEOMETRİ UYGUN.	TRS - MÜŞTERİ FIRMA / 28.04.06
32. BENZER ÜRÜN KARŞILAŞTIRMALARI	5.13.3	1. ARAŞTIRMA TAMAMLANDI. UYGUN.	ÜRÜN GELİSTİRME - KALİTE BÖLÜMLERİ / 30.03.06
33. GEREKSİZ	1.1.4		
34. MÜŞTERİ FIRMA SERVİSLERİNE DÖNÜK BİLGİLENDİRME TOPLANTISI DÜZENLENMESİ			ÜRÜN GELİŞTİRME / SERVİS BÖLÜMLERİ
35. ARAÇ ÜSTÜ SICAKLIK ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI	5.1.9	1. ÖLÇÜM GERÇEKLEŞTİRİLDİ. KEÇE MALZEMESİ DEĞİŞTİRİLEREK SICAKLIK DAYANIMI ARTTIRILDI.	MÜŞTERİ FIRMA / 28.04.06
36. ARAÇ ÜSTÜ SICAKLIK ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI			
37. ALTERNATİF MALZEMELERİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN APAŞTIRILMASI	5.4.1	1. ARAŞTIRMA TAMAMLANDI. İLK PLANDA UYGUN. ARAÇ ÜSTÜ SICAKLIK ÖLÇÜM SONUÇLARI BEKLENECEK.	ÜRÜN GELİSTİRME BÖLÜMÜ / 27.01.06

Tablo 4.3: Önerilen Önlemlere Karşı Alınan Aksiyonlar (Devam)

Önerilen Önlemler	Ref. No	Alınan Aksiyon		Sorumlu / Tamamlanma Tarihi
38. MÜŞTERİ FİRMA SERVİSLERİNE DÖNÜK BİLGİLENDİRME TOPLANTISI DÜZENLENMESİ				
39. SANAL ORTAMDA KARDAN MİLLİ MODAL ANALİZİNİN YAPILMASI İÇİN YAZILIM ARAŞTIRILMASI	2.1.1	1. ARAŞTIRMA TAMAMLANDI. HYPERWORKS YAZILIMI DEVREYE ALINDI.		ÜRÜN GELİŞTİRME - BİLGİ İŞLEM BÖLÜMLERİ / 27.01.06
40. MODAL ANALİZİN YAPILMASI	2.1.1	1. MODAL ANALİZ GERÇEKLEŞTİRİLDİ. ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE ARKA BORU GEOMETRİSİ DEĞİŞTİRİLDİ.		ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 30.03.06
41. SANAL ORTAMDA KARDAN MİLLİ MODAL ANALİZİNİN YAPILMASI İÇİN YAZILIM ARAŞTIRILMASI	2.1.2	1. ARAŞTIRMA TAMAMLANDI. HYPERWORKS YAZILIMI DEVREYE ALINDI.		ÜRÜN GELİŞTİRME - BİLGİ İŞLEM BÖLÜMLERİ / 27.01.06
42. MODAL ANALİZİN YAPILMASI	2.1.2	1. MODAL ANALİZ GERÇEKLEŞTİRİLDİ. ANALİZ SONUÇLARINA GÖRE ARKA BORU GEOMETRİSİ DEĞİŞTİRİLDİ.		ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 30.03.06
43. AKTARMA ORGANLARI YERLEŞİM ÇALIŞMASI SONUÇLARININ MÜŞTERİ FİRMADAN İSTENMESİ	3.1.1	1. SONUÇLAR İSTENDİ. UYGUN.		ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 20.01.06
44. AKTARMA ORGANLARI YERLEŞİM ÇALIŞMASI SONUÇLARININ MÜŞTERİ FİRMADAN İSTENMESİ	3.1.2	1. SONUÇLAR İSTENDİ. UYGUN.		ÜRÜN GELİŞTİRME BÖLÜMÜ / 20.01.06
45. GRES KAYIP TESTİNİN UYGULANMASI	5.1.1	1. TEST GERÇEKLEŞTİRİLDİ. UYGUN		TEST BÖLÜMÜ / 30.03.06
46. MÜŞTERİ FİRMA SERVİSLERİNE DÖNÜK BİLGİLENDİRME TOPLANTISI DÜZENLENMESİ	5.1.5	1. TOPLANTI DÜZENLENDİ		ÜRÜN GELİŞTİRME - SERVİS BÖLÜMLERİ / 30.03.2006
	5.1.6	1. TOPLANTI DÜZENLENDİ		
47. MÜŞTERİ FİRMA SERVİSLERİNE DÖNÜK BİLGİLENDİRME TOPLANTISI DÜZENLENMESİ	5.1.7	1. TOPLANTI DÜZENLENDİ		ÜRÜN GELİŞTİRME - SERVİS BÖLÜMLERİ / 30.03.06
	5.1.10	1. TOPLANTI DÜZENLENDİ		
	5.4.5	1. TOPLANTI DÜZENLENDİ		

4.7.4. Dördüncü Uygulama Adımı

Dördüncü uygulama adımında; RÖG puanlarına göre risk değerlendirmesi yapılarak ekibin, riski yüksek olan hata türlerine odaklanması sağlanmıştır.

Değerlendirme öncesinde bir eşik değerinin belirlenmesi için, belirli bir güven düzeyinin kabul edilmesi en uygun yöntemdir. Her üç kriter için (şiddet, olasılık, keşfedilebilirlik) 10'lu derecelendirme sisteminin kullanıldığından ulaşılabilecek maksimum RÖG puanı 1000 olacaktır. İstatistiksel güven düzeyi %90 olarak kabul edilirse, eşik değeri 100 olarak elde edilir. Otomotiv sektöründeki HTEA uygulamalarında eşik değeri olarak kabul edilen RÖG puanı 100'dür. Tirsan Kardan A.Ş. bünyesinde yapılan çalışmalarda da bu değer kullanılmaktadır. Konu analizde, RÖG puanı belirlenen eşik değerinin üzerinde olan hiçbir hata türü olmasa da şiddet puanı 8 olan ve/veya iyileştirme potansiyeli görülen noktalarda düzeltici/önleyici aksiyonlar, sorumlular ve hedef tarihler tanımlanmıştır.

Düzeltilici/önleyici aksiyonlar tamamlandıktan sonra, RÖG değerleri arasındaki fark "% Azalma" kolonlarına işlenmiştir. Olası hata türleri/nedenleri ve etkileri ile, maksimum RÖG değerlerinin ve toplam RÖG değerlerinin aksiyonlar alınmadan önce ve sonraki durumlarını ayrıca % azalmaları gösteren genel değerlendirme sayfası Şekil 4.7'de verilmiştir.

Kardan mili ürün fonksiyonları ve olası hata türleri bazında maksimum ve toplam RÖG değerleri ve bu değerlerdeki % azalmalar ise Tablo 4.4 içerisinde detaylandırılmaktadır.

Fonksiyonlar:	5		
Olası Hata Nedenleri:	68		
Olası Hata Türleri:	23		
Olası Hata Etkileri:	29		
Keşfetme Metotları:	83		
Önerilen Aksiyonlar:	48		
Maksimum RÖG Değerleri:			
Aksiyonlardan Önce:	96	Aksiyonlar Alındıktan Sonra:	72
			% Azaltma: 25
Toplam RÖG Değerleri:			
Aksiyonlardan Önce:	4316	Aksiyonlar Alındıktan Sonra:	1708
			% Azaltma: 60,4

Şekil 4.7: Tasarım HTEA Genel Değerlendirme

Tablo 4.4: Maksimum / Toplam RÖG Değerleri ve Azalma Oranları

FONKSİYON	OLASI HATA TÜRÜ	Maksimum RÖG Değerleri			Toplam RÖG Değeri			Olası Etkiler	Olası Nedenler	Keşfetme Metotları
		Aksiyon Öncesi	Aksiyon Sonrası	% Azaltma	Aksiyon Öncesi	Aksiyon Sonrası	% Azaltma			
1. MOTORVİTES KUTUSU AKUPLESİ İLE DİFERANSİYEL ARAŞINDA TORK AKTARMAK	1. KARDAN MILİ DETAY PARÇALARINDA YAPISAL BOZUKLUKLAR (AŞINMA/ÇATLAMA/KIRILMA)	96			528			2	7	11
2. MOTORVİTES KUTUSU AKUPLESİ İLE DİFERANSİYEL ARAŞINDA DEVİR AKTARMAK	1. KARDAN MILİNİN KRİTİK DEVİRE (REZONANS DEVİRİ) YAKIN DEVİR BANTINDA ÇALIŞMASI	84	56	33	364	438	20	1	5	7
3. ARKA SUSPANSİYON HAREKETİNDEN KAYNAKLANAN EKSENEL DEPLASMANI KARŞILAMAK	1. KAYIÇI GRUBU DETAY PARÇALARININ BİRBİRİNDEN AYRILMASI	64	48	25	112	80	29	1	2	2

Tablo 4.4: Maksimum / Toplam RÖG Değerleri ve Azalma Oranları (Devam)

FONKSİYON	OLASI HATA TÜRÜ	Maksimum RÖG Değerleri				Toplam RÖG Değeri				Olası Nedenler	Keşfetme Metotları
		Aksiyon Öncesi	Aksiyon Sonrası	% Azaltma	Aksiyon Öncesi	Aksiyon Sonrası	% Azaltma	Olası Etkiler			
4. ARKA SÜSPANSİYON HAREKETİNDEN KAYNAKLANAN AÇISAL DEPLASMANI KARŞILAMAK	1. EN EKSTREM DURUMDA KARDAN MILİ KULAKLI DETAY PARÇALARININ BİRBİRİNE ÇARPMASI	56	42	25	84	42	50	2	2	2	
		96	48	50	636	414	35	1	10	11	
5. SERVİS BEKLENTİLERİNİ KARŞILAMAK (DAYANIKLILIK ONFOR/ÇEVRE)	1. İSTAVROZ RULMANINDA AŞIRI AŞINMA/BOŞLUK	72			72			1	1	1	
		72			126			1	2	3	
	2. MAFSALIN BOŞLUKLU OLMASI	84	60	29	306	192	37	1	5	6	
		84	28	67	140	28	80	1	2	2	
	3. MAFSAL SIKILIĞININ YÜKSEK OLMASI	72	54	25	276	144	48	1	4	4	
		84	28	67	140	28	80	1	2	2	
	4. KAYIÇI ÇATAL SPLİNE PROFİLİNDE AŞIRI DERECEDE AŞINMA/BOŞLUK	72	54	25	276	144	48	1	4	4	
		84	28	67	140	28	80	1	2	2	
	5. KAYIÇI GRUP KAYMA KUVVETİNİN YÜKSEK OLMASI	72	54	25	276	144	48	1	4	4	
		84	28	67	140	28	80	1	2	2	
	6. AŞINMAYA BAĞLI OLARAK ELASTİK KAPLIN POZİSYON KAYBI (KURU TEMAS)	72	54	25	276	144	48	1	4	4	
		84	28	67	140	28	80	1	2	2	

Tablo 4.4: Maksimum / Toplam RÖG Değerleri ve Azalma Oranları (Devam)

FONKSİYON	OLASI HATA TÜRÜ	Maksimum RÖG Değerleri			Toplam RÖG Değeri			Olası Nedenler	Keşfetme Metotları	
		Aksiyon Öncesi	Aksiyon Sonrası	% Azaltma	Aksiyon Öncesi	Aksiyon Sonrası	% Azaltma			
	7. BORU KAYNAK HATASI (KIRILMA, ÇATLAMA VB.)	72			184			2	3	3
	8. TORK KAYBI (ELASTİK KAPLIN CIVATA BAĞLANTISI)	56			126			1	3	3
	9. TORK KAYBI (ARAYATAK MILİ CIVATA BAĞLANTISI)	56			98			2	2	2
	10. CIVATADA YORULMA KIRILMASI (ELASTİK KAPLIN BAĞLANTI CIVATASI)	64			64			1	1	1
	11. CIVATADA YORULMA KIRILMASI (ARA YATAK BAĞLANTI CIVATASI)	64			64			1	1	1
	12. ÇATALLI KAYICIMİLDE DEFORMASYON / ÇATLAMA / KIRILMA	96	72	25	264	135	49	2	3	5
	13. ARA YATAK MİLİNDE DEFORMASYON / ÇATLAMA / KIRILMA	96	72	25	264	135	49	2	3	6
	14. KAYICI GRUP SPLINE PROFİLLERİ ARASINDA AŞIRI BOŞLUK (LASH)	84	28	67	140	28	80	1	2	2
	15. BALANS SACININ DÜŞMESİ	45			45			1	1	1
	16. BORU ÜZERİNDE KOROZYON	36			36			1	1	1
	17. ÜÇ KOLLU FLANS MERKEZLEME BURCUNUN HAVŞASINDA KOROZYON	45			45			1	1	1

Tablo 4.4: Maksimum / Toplam RÖG Değerleri ve Azalma Oranları (Devam)

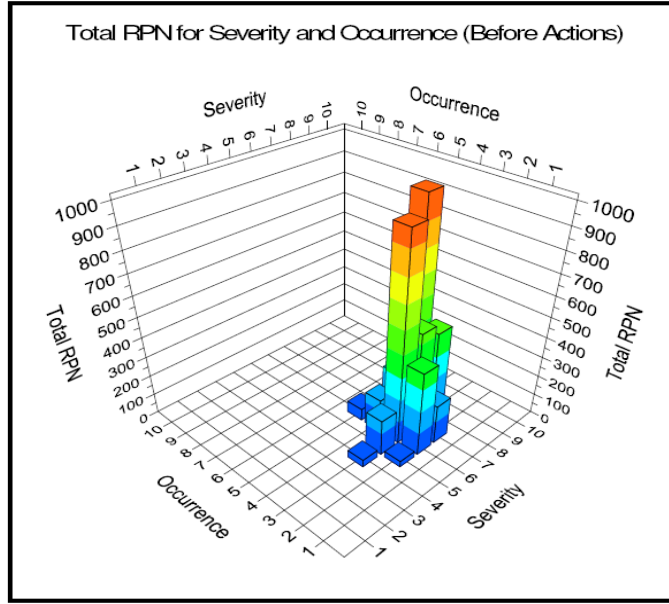
FONKSİYON	OLASI HATA TÜRÜ	Maksimum RÖG Değerleri			Toplam RÖG Değeri			Olası Etkiler	Olası Nedenler	Keşfetme Metotları
		Aksiyon Öncesi	Aksiyon Sonrası	% Azaltma	Aksiyon Öncesi	Aksiyon Sonrası	% Azaltma			
	18. ELASTİK KAPLIN KAUCUĞUNUN AŞINMASI/YIRTILMASI /UZAMASI (YAY KATSAYISININ DEĞİŞİMİ)	45			120			1	3	3
	19. ASKI KAUCUĞUNUN AŞINMASI/YIRTILMASI /UZAMASI (YAY KATSAYISININ DEĞİŞİMİ)	72	36	50	222	72	68	1	4	5

Ayrıca; şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik kriterleri arasında ikili kombinasyonlar yapılarak, söz konusu kriterlerin kendi arasındaki ve toplam RÖG değeri ilişkileri tanımlanmıştır. Üç boyutlu bar grafikler yardımı ile en kritik olan kombinasyonlar görselleştirilmeye çalışılmıştır. Aksiyonların alınmasından önceki ve sonraki durumlar için ayrı grafikler hazırlanmıştır. Söz konusu grafikler, Şekil 4.8 ile Şekil 4.13 arasında verilmektedir.

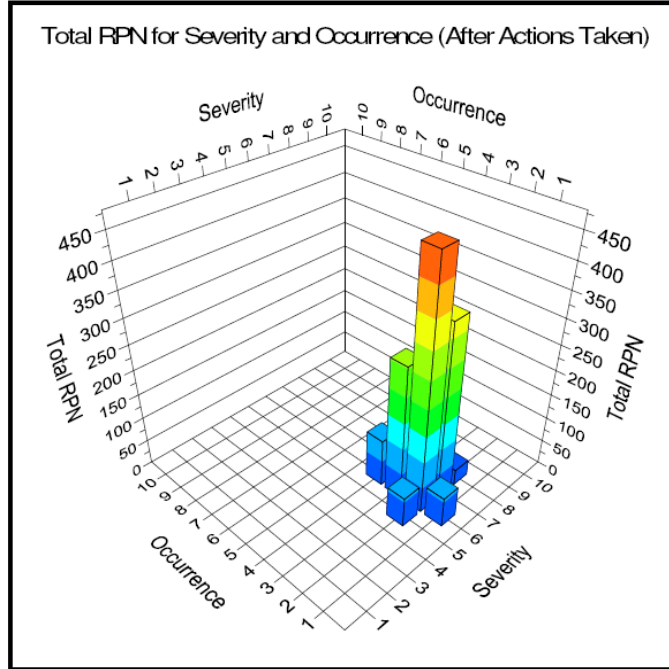
Analizin bu aşamasında, Pareto Analizi yapılarak öncelik verilmesi gereken hata türlerinin hangi ürün fonksiyonu ile ilişkili olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Burada amaç; toplam RÖG değerlerine göre öncelikli olan konular üzerine yoğunlaşarak emek ve zamanın etkin kullanılmasıdır. Yapılan analiz sonucunda, öncelikle 5. fonksiyon ile ilişkili hata türlerinin değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Aksiyonlar alınmadan önceki duruma ait Pareto Analizi Şekil 4.14'te verilmektedir.

Önerilen aksiyonların tamamlanmasından sonra hesaplanan yeni RÖG değerlerine göre tekrar Pareto Analizi yapılmış ve RÖG bazında iyileştirmeler gözlenmiştir. Aksiyonlar alındıktan sonraki duruma ait Pareto Analizi Şekil 4.15'te verilmektedir. Toplamda bakıldığı zaman; %30'a yaklaşan bir azalma sağlandığı görülmektedir.

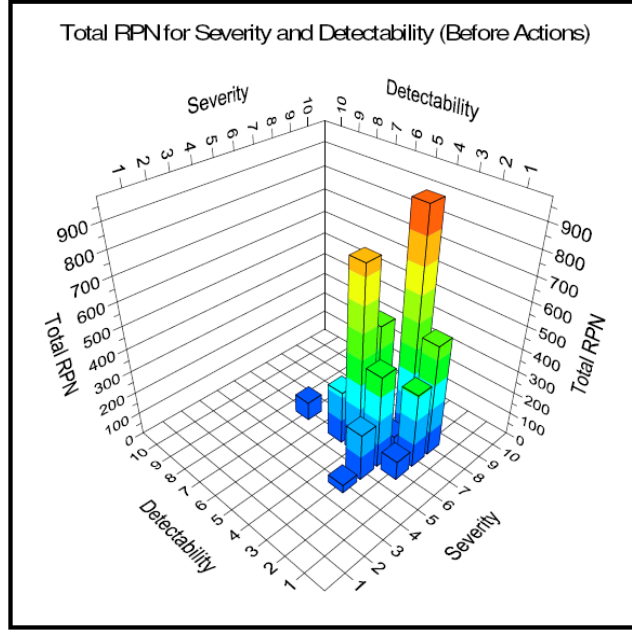
Analizin sonunda elde edilen sonuçlar ile ilgili olarak bir dosya hazırlanarak öncelikle üst yönetime daha sonra firma çalışanlarına bir sunum yapılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.



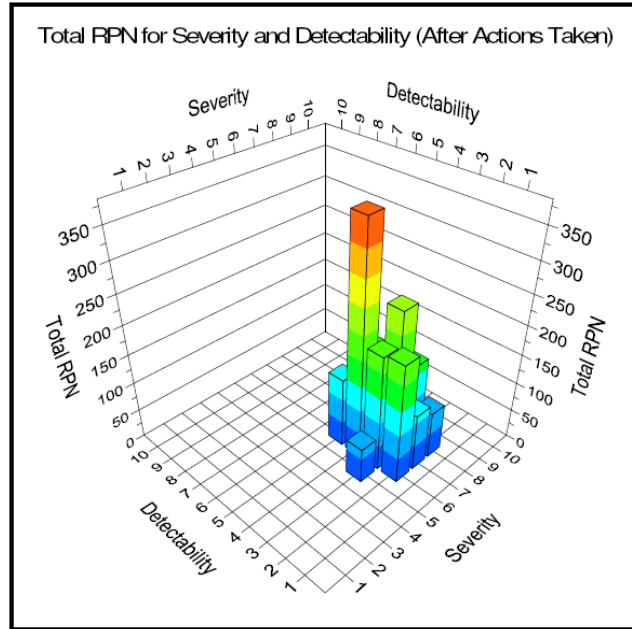
Şekil 4.8: Şiddet x Olasılık (Aksiyon Öncesi)



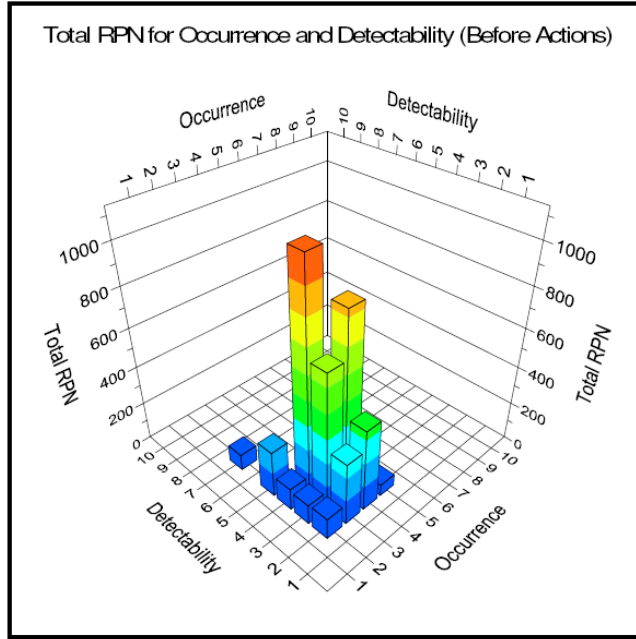
Şekil 4.9: Şiddet x Olasılık (Aksiyon Sonrası)



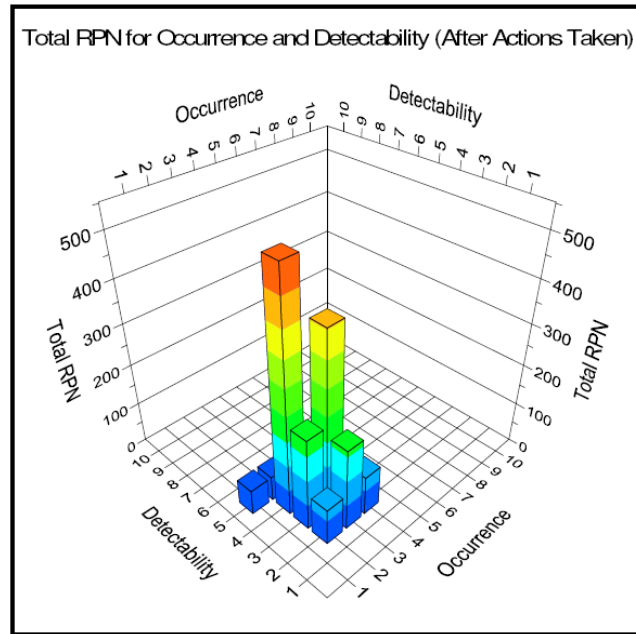
Şekil 4.10: Şiddet x Keşfedilebilirlik (Aksiyon Öncesi)



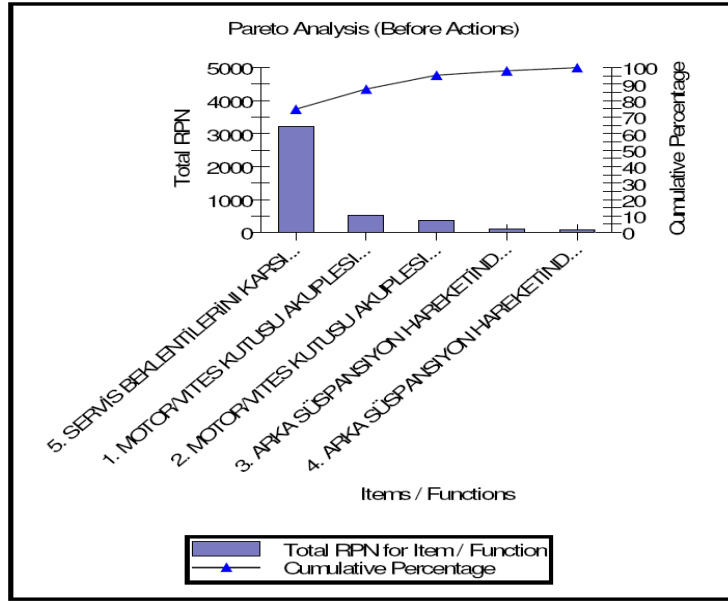
Şekil 4.11: Şiddet x Keşfedilebilirlik (Aksiyon Sonrası)



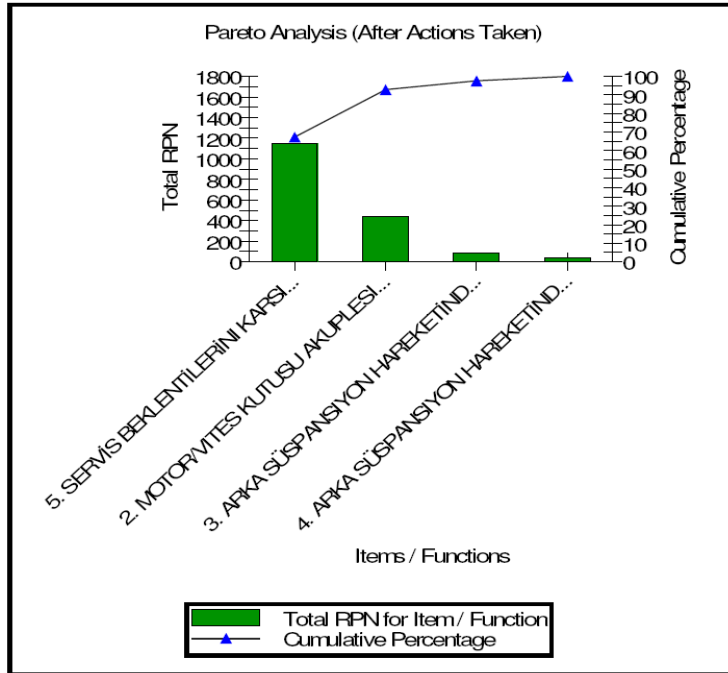
Şekil 4.12: Olasılık x Keşfedilebilirlik (Aksiyon Öncesi)



Şekil 4.13: Olasılık x Keşfedilebilirlik (Aksiyon Sonrası)



Şekil 4.14: Pareto Analizi (Aksiyon Öncesi)



Şekil 4.15: Pareto Analizi (Aksiyon Sonrası)

5.6. Uygulamann Çıktıları

Tasarım HTEA'nin sonucunda elde edilen çıktılar arasında; taslak özel karakteristikler listesi, ürün tasarım bilgileri, ürün tasarım yazılım ve donanım ihtiyaçları, yeni test yöntemleri ve test kriterleri, mevcut test cihazlarında ve teknik resim/dokümanlarda revizyon gereksinimi, yeni test cihazı gereksinimi, tasarım doğrulama planı kapsamına alınması gereken testlerin listesi ve prototip kontrol planı sayılabilir.

Yeni test cihazları ve teknik resim/dokümanlardaki revizyon gereksinimi analiz dokümanları içerisinde belirtilmiştir. Ancak taslak özel karakteristikler listesi, ürün tasarım bilgileri ve test kriterleri ile tasarım doğrulama planı firma için çok gizli bilgiler kapsamında olduğundan ayrıca detaylandırılmamıştır.

Tasarım HTEA çalışmaları tamamlandıktan sonra yapılanların uygunluğunu kontrol etmek açısından Üçüncü Bölüm içerisinde bahsedilen standart kontrol listesi üzerinden gidilerek bir gözden geçirme yapılmıştır. Söz konusu kontrol listesi Şekil 4.16'dan görülebilir.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında yapılan uygulama sırasında "Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi (Reliability and Robustness Checklist)" hazırlanarak analizin güvenilirlik ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır. Konu listede, anahtar robustluk niteliklerini özetlenerek; beş gürültü faktörü, Tasarım HTEA ve Tasarım Doğrulama Planı ile ilişkilendirilmiştir. İlgili kontrol listesine ekler içerisinden ulaşılabilir.

TASARIM HTEA KONTROL LİSTESİ										
PARÇA ADI TRS PARÇA NO/REVİZYON MÜŞTERİ FİRMA/PARÇA NO/REVİZYON PROJE NO	: Kardan Mili : : : Ford Transit MY 2007	HAZIRLANMA TARİHİ HAZIRLAYAN HTEA NO REVİZYON NO	: 29.05.2006 : K.TAŞAN : 06-014 : 0	SORU	EVET	HAYIR	AÇIKLAMA / GEREKLİ AKSIYON	SORUMLU	HEDEF TARİHİ	GERÇEKLEŞME TARİHİ
1	Tasarım HTEA, tasarımdan sorumlu çapraz fonksiyonlu bir ekip tarafından mı hazırlanmış?	X		Çekirdek ekip; ÜG/ArGe, Kalite, Test, Montaj, Üretim, Servis, Satınalma ve Satış Bölümlerinden katılımcılardan oluşuyor. Müşteri firmadan ilgililer ve sektör uzmanlarının da gereken aşamalarda katılımı sağlandı.						
2	Tasarım HTEA sırasında HTEA Prosedürüne uyulmuş mu?	X								
3	Geçmiş kampanya ve garanti bilgileri gözden geçirilmiş mi?	X								
4	Benzer parça HTEA'leri göz önünde bulundurulmuş mu?	X								
5	Tasarım HTEA, olası özel ürün karakteristiklerini tanımlıyor mu?	X		Taslaık özel ürün karakteristikleri listesi hazırlandı. Proses HTEA sonrasında listeye son halinin verilecek.						
6	Yüksek risk öncelik puanına sahip hata türlerini etkileyen tasarım karakteristikleri tanımlanmış mı?	X		Prosedür gereğince RÖG ≥ 100 olan hata türleri için düzeltici/önleyici faaliyet istegi yapılmalıdır. Bu RÖG değeri bu değerin üzerinde olan hiçbir hata türü olmasa da gerekli görülen yerlerde geliştime potansiyelleri için sorumlu ve hedef tarihler belirlenerek aksiyon alınmıştır.						
7	Yüksek risk öncelik puanına sahip hata türleri için uygun düzeltici faaliyetler ve sorumlular atanmış, hedef tarihler belirlenmiş mi?	X								
8	Yüksek şiddet puanına sahip (9 ve üzeri) hata türleri için uygun düzeltici faaliyetler ve sorumlular atanmış, hedef tarihler belirlenmiş mi?		X	Şiddet Puanı 9 ve üzeri olan bir hata türü öngörülüyor.						
9	Düzeltilici faaliyetler tamamlandıktan ve doğrulandıktan sonra risk öncelik puanları revize edilmiş mi?	X								

Şekil 4.16: Tasarım HTEA Kontrol Listesi

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ

Günümüzde, olası hataların daha ürün tasarım aşamasında iken belirlenerek yaratılabileceği risklerin ortadan kaldırılması, dolayısı ile güvenilirliğin artırılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Aksi takdirde; firmalar uzun dönemde rekabetçi olamayarak, pazardaki konumlarını yitirmek gibi çok ciddi bir risk ile karşılaşabilirler.

Bu nedenle; ürün ve proses güvenilirliğinin artırılması için birçok sistematik metod yaratılmıştır. Bu eğilimin temelinde; özellikle maliyet, zaman ve müşteri odaklılık konusunda artan pazar talepleri, yoğun rekabet baskısı, ürün sorumluluğu konusunda yaygınlaşan yasa/yönetmelikler, yeni enformasyon teknolojileri ve küreselleşmenin yattığı söylenebilir. Ayrıca uluslararası kalite yönetim sistemlerinin de bu metodların kullanılmasını şiddetle önermesi kullanımın yaygınlaşmasına yardımcı olmuştur. Bu tez kapsamında yer alan Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin gerçekleştirildiği Tirsan Kardan A.Ş. firmasının sahip olduğu ISO TS 16949 Kalite Yönetim Sistemi, ürün gerçekleştiriminin belirli aşamalarında HTEA metodunun kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Söz konusu metodlar arasında HTEA; anlaşılabilir ve kolay uygulanabilir olmasının yanı sıra çıktılarının kullanılabilirliği açısından da ön plana çıkmaktadır.

Bir ürünün tasarımı, potansiyel üretim hatalarının doğasını ve aynı zamanda sayısını etkiler. Çünkü tasarım; ürünün malzemesini, boyutlarını ve üretim/montaj proseslerini dikte eder. Tüm bunlar beraberce sahadaki hatalara önderlik ederler. Üretim ve montaj prosesleri sırasında ortaya çıkan hatalar göreceli olarak oldukça maliyetli hatalardır. Yapılan araştırmalar; konsept tasarım aşamasında fark edilen hataların %3 gibi çok düşük oranlarda bir maliyet kaybı yaratırken, üretim aşamasındaki fark edilen hataların %85 gibi çok ciddi bir maliyet kaybı yaratılabileceğini göstermiştir. Bu nedenle

Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin konsept tasarım aşamasında iken etkin olarak kullanımı; hataların düzeltilebilmesi veya kompanse edilebilmesi konusunda maksimum maliyet avantajını yaratacaktır.

Tümevarımsal bir metod olan HTEA; tasarım, üretim ve servisten kaynaklanan hata türleri üzerine odaklanarak yalnızca bilinen değil, olası hataların da risklerini belirler ve önceliklendirir. Analizin temel amacı; söz konusu risklerin müşteriye ulaşmadan önce ortadan kaldırılması, kabul edilebilir bir düzeye indirilmesi veya ortaya çıkmalarını engelleyecek altyapının hazırlanmasıdır.

Hata türü ve etkileri analizlerinin türden bağımsız olarak sağladığı ortak yararların özelliği, firma seviyesinde olmaları ve disiplinler üstü bir karakter taşımalarıdır. Sözü edilen yararlar arasında; ürün/ proses/hizmet kalitesi, güvenilirliği ve emniyetinin artırılmasının yanı sıra; firma rekabet yeteneklerinin artırılması, garanti maliyetlerinin azaltılması, firma imajının desteklenmesi, müşteri tatmininin artırılması, mühendislik ve organizasyon bilgisinin artırılması, geç değişikliklerin ve buna bağlı maliyetlerin azaltılması, fonksiyonlar arası iletişimin güçlendirilmesi, yapılan çalışmaların dokümanite edilerek; gelecekteki projeler için bir referans bilgi kaynağı oluşturulması sayılabilir.

Aslında tüm bu yararlar incelendiğinde; sistematik olarak HTEA uygulayan firmaların, yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip ürünleri, düşük maliyetler ile en kısa sürede tasarlayarak ve/veya üreterek pazarda ciddi bir rekabet avantajı yaratabileceği görülür. Ayrıca konu analizler, sağladıkları dokümantasyon alt yapısı ile sürekli güncelleştirilebildiğinden, sürekli geliştirme için de organizasyonel bir farkındalık sağlayacaktır. Tirsan Kardan A.Ş. bünyesinde HTEA, İleri Ürün Kalite Planlaması (Advanced Product Quality Planning-APQP) sürecinin bir parçası olarak diğer araçlarla beraber kullanılmaktadır.

HTEA'nden somut yararlar elde edilebilmesi için söz konusu aksiyonların izlenmesi ve sonuçlandırılması gerekir. Aksi halde analizin yararları sınırlı kalacaktır. HTEA bir kez uygulandıktan sonra; ani sonuçlar beklenmemeli ancak uygulamaya devam ederek ekonomik getirilerinin değerlendirilmesi alışkanlığı kazanılmalıdır.

Analizler sırasında, profesyonel HTEA yazılımlarından yararlanılması giderek artan bir eğilimdir. Bu eğilimin temel nedenleri arasında; mühendislik çalışmalarına dokümantasyon çalışmalarından daha fazla zaman ayrılabilmesi, hazırlanan dokümanların revizyon kontrollerinin daha sağlıklı yapılabilmesi, önerilen aksiyonların analiz dokümanları ile ilişkili ayrı bir dosya üzerinden izlenebilmesi, HTEA dokümanları ile teknik resimler, operasyon kartları/planları, proses akış şemaları, kontrol planları ve tasarım doğrulama planları gibi dokümanlar arasındaki ilişkinin kurulabilmesi ve her şeyden önemlisi; geçmiş HTEA çalışmalarına ait dokümanların söz konusu yazılım içerisinde tutularak öğrenilmiş derslere ait bir veri tabanının analiz ekibinin kullanımına açılması sayılabilir. Ayrıca bu tip profesyonel yazılımların kullanılması; firma içerisinde ürün ve proses güvenilirliği konusunda yaratılacak olan kurumsal belleğe ciddi katkı yapacaktır. Bu uygulama sırasında; DYADEM firmasının kantitatif risk analizi için özel olarak geliştirdiği FMEA-Pro yazılımı kullanılmış ve profesyonel yazılımların kullanılması sonucunda elde edilmesi beklenen avantajların gerçekten sağlanabildiği gözlemlenmiştir.

Son yıllarda otomotiv sektöründe; yalnızca üretim yapan ve proses tasarımından sorumlu olan yan sanayi firmaları değil, aynı zamanda ürün tasarım sorumluluğunu da alarak ana sanayi firmaları ile çözüm ortağı gibi çalışan yan sanayi firmaları çok daha rekabetçi olabilmektedir. Bu nedenle, proses güvenilirliğinin yanı sıra, tasarım güvenilirliği de otomotiv yan sanayi firmalarının sorumluluk alanları içerisine almaları gereken bir kavram haline gelmiştir. Bunun sonucu olarak; otomotiv yan sanayi firmaları yalnızca üretim yapan firmalar olmak yerine giderek insan kaynakları, teknoloji geliştirme ve eğitim gibi alanlara daha çok yatırım yapan, bilgi tabanlı firmalar olmak yönünde ciddi adımlar atmaktadır.

Konuya Hata Türü ve Etkileri Analizi yönünden bakılacak olursa; yalnızca Proses HTEA değil, uygulaması çok daha zor olan ve ciddi bir bilgi birikimi gerektiren Tasarım HTEA de yan sanayi firmaları tarafından uygulanması gereken bir analiz türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu gelişmeler ışığında; Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin temel türlerinden birisi olmasına karşın, halen daha ülkemizde Proses HTEA'ne göre çok daha kısıtlı olan Tasarım HTEA'nin bir otomotiv yan sanayi firmasında uygulaması yapılmıştır.

Global firmaların 25 yılı aşkın bir süredir HTEA'ni sürekli olarak geliştirdikleri gözlenmektedir. 2004 yılında 4.1 versiyonu yayınlanan Ford FMEA Handbook içerisinde, analizin daha öncekilerden farklı olarak robustluk bağlantısı da içermesi bunun belirgin örneklerinden birisidir. Bu gelişmeler ışığında; tez çalışması içerisinde yer alan uygulama ile, güvenilirlik ve robustluk bağlantıları kurularak analizden çok daha gerçekçi sonuçlar alınabileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

HTEA, kalite sistemleri içerisinde çok fonksiyonlu veya çapraz fonksiyonlu ekipler olarak adlandırılan, firma içerisindeki farklı disiplinlerden gelen katılımcılar tarafından yürütülen bir ekip çalışmasıdır. Analizin temelinde farklı bakış açısı ve deneyimlerin gündeme getirilerek kullanılması yatar. HTEA ekipleri içerisinde farklı bölümlerden katılımcıların olması nedeni ile olası problemler aynı anda görüşülerek değerlendirilmiş olur. Böylelikle karar mekanizması daha hızlı işleyebilir, kararlar geniş katılımlı bir ortamda alınabilir ve bölümler arasındaki işbirliği daha da arttırılabilir. Bu tez kapsamında yer alan uygulamayı yapacak olan çekirdek ekip içerisinde; Ürün Geliştirme, Kalite, Test, Montaj, Üretim, Servis, Satınalma ve Satış Bölümleri'nden katılımcılar alınmıştır. Bu ekip, daha önce en az 5 kez Tasarım HTEA çalışmalarında aktif rol almış kişiler arasından seçilmiştir. Ayrıca; Ford Motor Company ve Ford Otosan firmalarından katılımcıların yanı sıra, ileri mühendislik analizleri ve tasarım doğrulama test cihazları konusunda danışmanlık hizmeti veren bazı firmalardan uzmanların da belirli aşamalarda ekibe dahil olmaları sağlanmıştır.

Ekibin üyelerinin HTEA'nin yanı sıra; takım çalışması, veri analizi, deney tasarımı, kalite fonksiyon göçerimi, karşılaştırma, üretilebilirlik/montaj edilebilirlik ve servis edilebilirlik için tasarım, problem çözme teknikleri, hata önleme ve istatistiksel proses kontrol gibi konularda eğitimli olan çalışanlardan seçilmesi ile analiz çıktılarının kalitesinin yükseltilmesi hedeflenmiştir.

Analizin; konsept tasarım ile beraber başlatılması, ürün tasarım sürecinin aşamaları boyunca sürekli olarak güncellenmesi ve seri üretimde kullanılacak olan fikstür/aparat ve takımlandırma için teknik resim yayını yapılmadan önce tamamlanmış olması hedeflenmiştir. Burada amaçlanan; analizden elde edilen sonuçların, maliyet avantajı açısından olabildiğince yukarıda tutulmasıdır.

Ayrıca HTEA ekibinin; analizin yürütülmesi, geliştirme/iyileştirme önerilerinin sunulması ve uygulanması konusunda hangi sınırlar içerisinde kalması gerektiği analiz öncesinde net olarak tanımlanmıştır. Buna göre;

1. Ekibin sorumlulukları yalnızca analizin yürütülmesi ile sınırlı kalmamış, geliştirme/iyileştirme önerilerinin uygulanması sorumluluğu da kendilerine verilmiştir.

2. Müşteri firma tarafından bildirilen zaman planı doğrultusunda, analizin tamamlandıktan sonra ilgili teknik resimlerin yayınlanması için hedef tarih olarak; 2006 yılının 34.haftası belirlenmiştir. Ekibin bu tarihe kadar geçen 6 aylık süre içerisinde analizi tamamlaması hedeflenmiştir. Bu arada her üç haftada bir periyodik olarak toplanılması karara bağlanmıştır.

3. Ekibin, sıra dışı bir durum ile karşılaşılırsa üst yönetimi bilgilendirecek ve alınacak olan karar doğrultusunda hareket edecektir.

Analizin kapsamı net olarak tanımlanmış ve bir iç yazışma ile ilgili bölümlere duyurulmuştur.

Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin zamanında bitirilebilmesi ve kaynakların verimli olarak kullanılabilmesi için, analiz başlangıcında bu tip tanımlamaların yapılması mutlaka gereklidir.

Uygulama içerisinde; gürültü faktörleri 3 temel başlık altında 5 gruba ayrılarak tanımlanmıştır.

1. Donanım ile ilgili değişkenlikler
Gürültü Faktörü 1 – (G1) : Parçadan parçaya değişkenlik
Gürültü Faktörü 2 – (G2) : Zamana bağlı değişkenlikler
2. Kullanım koşulları ile ilişkili değişkenlikler
Gürültü Faktörü 3 – (G3) : Müşteri kullanımı ve çalışma çevrimi
3. Çevre ile ilişkili değişkenlikler
Gürültü Faktörü 4 – (G4) : Dış çevre
Gürültü Faktörü 5 – (G5) : İç çevre

Gürültü faktörlerinin yönetiminde; gürültü faktörlerine karşı ürün tasarımının daha az duyarlı hale getirilmesi üzerine kurulu bir yönetim stratejisi izlenmiştir. Bunun temel nedeni; G3 grubuna giren müşteri kullanımı ve çalışma çevrimi ile ilişkili gürültü faktörlerinin, otomotiv sektöründe kontrol edilmesi ve ortadan kaldırılmasının pek mümkün olmamasıdır.

Tasarım HTEA'nin başlangıcında önce Sınır Diyagramı, ardından P-Diyagramı hazırlanarak; analizin kapsamı tüm ekip için görselleştirilerek ekibin kapsamdan uzaklaşması engellenmiş ve tasarım girdileri ideal fonksiyonlara dönüştürülürken; ortaya çıkabilecek kontrol faktörleri, gürültü faktörleri ve hataların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tasarım HTEA çalışmaları 4 temel uygulama adımı içerisinde yürütülmüştür. Birinci adımda; fonksiyonlar tanımlanarak bu fonksiyonlarda ortaya çıkabilecek olası hata türleri öngörülmüştür. Daha sonra her bir hata türünün etkileri ve nedenleri belirlenerek, bunlara karşılık gelen etkiler için mevcut ve/veya uygulanması düşünülen

kontroller form üzerinde belirtilmiştir. İkinci adımda; hata türleri, şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik açısından puanlanarak, bu puanların çarpımından elde edilen Risk Öncelik Göstergesi (RÖG), hata türleri arasında bir önceliklendirme yapılmasında kullanılmıştır. Puanlandırma sırasında HTEA ekibi; otomotiv sektöründe genel kabul gören ve tezin üçüncü bölümü içerisinde verilmiş olan tablolardan yararlanmışır.

Üçüncü adımda; RÖG değeri eşik değerinin üzerinde olmasa da geliştirme potansiyeli görülen noktalarda önlemler önerilmiş, ilgili aksiyonlar ve bu aksiyonların sorumluları ile hedef tamamlanma tarihleri tanımlanmıştır. Bu adımda, ekip tarafından önerilen önlemleri, bu amaçla alınan aksiyonları ve bu aksiyonların hedef tarih ve sorumlularını, analiz sayfalarındaki referansları ile beraber veren bir özet tablo hazırlanmıştır. Bir HTEA çalışması çok iyi hazırlanmış olsa da; aksiyonların tamamlanması konusunda etkin bir izlemenin yapılmaması analizin sağlayacağı yararları ciddi ölçüde azaltacaktır.

Bu adım içerisinde HTEA ile beraber kullanılabilen bazı metotlardan da yararlanmışır. Özellikle ürün kıyaslamaları sonucunda elde edilen girdilerin, “Önerilen Aksiyonlar” kolonuna katkısı sağlanmışır. Ayrıca uygulama içerisinde, tasarım gözden geçirmeler, kontrol yöntemlerinden birisi olarak algılanmış ve tasarım gözden geçirme toplantılarında ortaya atılan görüşler, analizin farklı adımlarında değerlendirilmiştir.

Dördüncü adımda ise; RÖG puanlarına göre risk değerlendirmesi yapılarak analiz ekibinin riski yüksek olan noktalara odaklanması sağlanmışır. Analizin genel değerlendirmesi yapılacak olursa; 23 olası hata türüne karşılık 29 farklı etki ve bu etkiler için de 68 olası hata nedeni üzerinde durulmuştur. Keşfetme metotlarının sayısı 83’tür. Analiz kapsamında yapılan çalışmalar ile toplam 48 adet aksiyon önerilmiş ve bu aksiyonların izlemesi yapılarak, tamamlanmıştır.

Bazı kaynaklarda; başlangıçtaki en büyük RÖG ile düzeltici/önleyici aksiyonlar tamamlandıktan sonraki en büyük RÖG'nin birbirine oranı “Güvenilirlik Geliştirme Oranı” (Reliability Improvement Ratio – RIR) olarak tanımlanmaktadır.

$$\text{Güvenilirlik Geliştirme Oranı} = (\text{RÖG}_{\text{maksimum ilk}}) / (\text{RÖG}_{\text{maksimum son}})$$

Bu açıdan bir değerlendirme yapılacak olursa; aksiyon alınmadan önceki maksimum RÖG değeri 96 iken, aksiyonlar alındıktan sonra bu değer 72'ye inmiştir. Buradan, Güvenilirlik Geliştirme Oranı 1.33 olarak bulunur. Ayrıca başka bir karşılaştırma ölçütü olarak toplam RÖG değerlerine bakıldığında; aksiyonlar alınmadan önce 4316 olan toplam değer, aksiyonlar alındıktan sonra 1708'e indiği görülmektedir. Toplam RÖG değerlerinde sağlanan azaltma %60,4 olarak elde edilmiştir.

Uygulama kapsamında, Pareto Analizi yapılarak öncelik verilmesi gereken hata türlerinin hangi ürün fonksiyonu ile ilişkili olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Önerilen aksiyonların tamamlanmasından sonra hesaplanan yeni RÖG değerlerine göre tekrar Pareto Analizi yapılmış ve RÖG değerleri bazında iyileştirmeler gözlenmiştir.

Tasarım HTEA sonunda; ürün güvenilirliğinin deneysel olarak test edilebilmesi için gerekli ihtiyaçlar belirlenmiş, buna bağlı olarak test kriterleri ve tasarım doğrulama planı hazırlanmış, ürün tasarım alternatifleri belirlenmiş ve taslak özel karakteristikler listesi oluşturulmuştur. Ancak test kriterleri, tasarım doğrulama planı ve taslak özel karakteristikler listesi firma için çok gizli bilgiler kapsamında olduğundan bu çalışma içerisinde ayrıca detaylandırılmamıştır.

Ayrıca “Güvenilirlik ve Robustluk Kontrol Listesi (Reliability and Robustness Checklist)” de hazırlanarak analizin güvenilirlik ilişkisi kurulmuş ve anahtar robustluk

nitelikleri özetlenerek, beş gürültü faktörü; Tasarım HTEA ve Tasarım Doğrulama Planı ile ilişkilendirilmiştir. İlgili kontrol listesi ekler içerisinde verilmiştir.

Sonuç olarak; Hata Türü ve Etkileri Analizi, diğer birçok metodu bünyesine entegre edebilen bir yapıya sahiptir. Uygulanması, belirli bir deneyim ve bilgi birikimi gerektirse de çıktılarının kullanılabilirliği açısından güvenilirliğin artırılması amacıyla kullanılan metotlar arasında ön plana çıkmaktadır. Ancak bu metottan maksimum verimin sağlanabilmesi için; zamanlamanın çok iyi yapılması, analiz sınırlarının çizilmesi, önerilen aksiyonların izlenmesi/yürütülmesi, üst yönetimin desteği ve İleri Ürün Kalite Planlaması gibi kapsamlı süreçlerin bir parçası olarak kullanılması gereklidir. Sistematik olarak HTEA uygulayan firmalar; yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip ürünleri, düşük maliyetler ile en kısa sürede tasarlayarak ve/veya üreterek, pazarda kendilerine ciddi bir rekabet avantajı yaratacaklardır.

KAYNAKLAR

1. Akao, Y. (1990). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. Productivity Press, Portland.
2. Akın, B., Erol, V. ve Çetin, C. (1998). Toplam Kalite Yönetimi ve ISO 9000 Kalite Güvence Sistemi, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.
3. Aldridge, J.R., Taylor, J., ve Dale, B.G. (1990). The Application of Failure Mode and Effects Analysis at an Automotive Components Manufacturer. *International Journal of Quality and Reliability Management* 8(3).
4. Artı Yönetim Danışmanlığı. (2005). HTEA Eğitim Notları, İzmir.
5. Automotive Industry Action Group (AIAG). (1996). *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Reference Manual*. AIAG, Michigan.
6. Automotive Industry Action Group (AIAG). (2004). *Reliability Methods Guideline*. AIAG, Michigan.
7. Baskan, Ş. (1997). *İstatistiksel Kalite Kontrolü*. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
8. Bedir, A. (2002). Türkiye’de Otomotiv Sanayi Gelişme Perspektifi, DPT Yayın No:2660, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
9. Bednarz, S. ve Marriott, D. (1988). Efficient Analysis for FMEA. *Proceedings of the 1988 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium*.

10. Ben-Daya, M. ve Abdul, R. (1996). A Revised Failure Mode and Effects Analysis Model. *International Journal of Quality and Reliability Management*, Bradford.
11. Bernstein, P. (1996). *Against the Gods: The Remarkable History of Risk*, John Wiley and Sons, New York.
12. BS 5760. (1995). *Part 5 – Guide to Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMEA and FMECA)*.
13. Chao, L.P. , Beiter, K.A. ve Ishii, K. (2001). Design Process Error Proofing: International Industry Survey and Research Roadmap. *Proceedings of the ASME DETC:2001 ASME Design Engineering Technical Conferences*, Pittsburgh.
14. Chao, L.P. ve Ishii, K. (2003). Design Process Error Proofing: Failure Modes and Effects Analysis of the Design Process. *Proceedings of the ASME DETC: DFM*. Chicago.
15. Chao, L.P. ve Ishii, K. (2004). Challenges and Methods in the Quantification of Design Errors and Solution Elements. *Proceedings of IMECE:2004 ASME International Mechanical Engineering Congress*. Anaheim, California.
16. Cheldelin, B. ve Ishii, K. (2004). Mixed Model Assembly Quality. *Proceedings of IMECE:2004 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Anaheim, California.
17. Chrysler Corporation. (1986). *FMEA Manual*. Detroit, Michigan.

18. Chrysler Corporation, Ford Motor Company ve General Motors Corporation. (1995). *Advanced Product Quality Planning (APQP) and Control Plan Reference Manual*. Carwin Continuous Ltd.
19. Clausing, D. (1994). Reliability. *Reliability and Robust Design Conference Proceedings*, Ford Motor Company, Dearborn, Michigan.
20. Cox, S.J. ve Tait, N.R.S. (1991). *Reliability, Safety and Risk Management: An Integrated Approach*. Butter-Worth Heinemann Ltd., Oxford.
21. Crowe, T.J. ve Cheng, C.C. (1996). Using Quality Function Deployment in Manufacturing Strategic Planning. *International Journal of Operations&Production Management*, 1(4).
22. Dale, B.G. ve Shaw, P. (1990). Failure Mode and Effects Analysis in the UK Motor Industry: A State-of-the-Art Study. *Quality and Reliability Engineering International*, MCB University Press, Vol.6.
23. Feigenbaum, A.V. (1991). *Total Quality Control*. Mc Graw-Hill Inc.,
24. Feynman, R.P. (2004). "Science, Engineering and Statistics" Mühendislik Semineri, Ford Motor Company, Köln.
25. Ford Motor Company. (2004). *FMEA Handbook (with Robustness Linkages)*. Dearborn, Michigan.
26. Ford Otosan. (1997). Proses HTEA Eğitim Notları, İstanbul.
27. Gençler, R. (2001). Konfigürasyon Yönetimi ve Güvenilirlik/Sürdürülebilirlik, T.C. Savunma Sanayi Müsteşarlığı, Ankara.

28. General Motors Corporation. (1998). *FMEA Reference Manual*. Detroit, Michigan.

29. Gevirtz, C. (1994). *Developing New Products with Total Quality Management*. Mc Graw-Hill Inc.,

30. Gilchrist, W. (1993). Modelling Failure Modes and Effects Analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*, Bradford.

31. Greene, A.E. ve Bourne, A.J. (1972). *Reliability Techonology*, J.Wiley and Sons, Chichester.

32. Hari, A. ve Weiss, M.P. (1999). CFMA: An Effective FMEA Tool for Analysis and Selection of the Concept for a New Product. *Proceedings of the ASME DETC: DFM*. Las Vegas.

33. Kara-Zaitri, C., Keller, A., Barody, I. ve Fleming, P. (1991). An Improved FMEA Methodology. *Proceedings of the 1991 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium*.

34. Kmenta, S., ve Ishii, K. (2000). Scenario-Based FMEA: A Life Cycle Cost Perspective. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference. Baltimore*.

35. Kmenta, S., Cheldelin, B. ve Ishii, K. (2003). Assembly FMEA: A Simplified Method for Identifying Assembly Errors. *Proceedings of the IMECE 03: 2003 ASME Internationa Mechanical Engineering Congres&Exposition*. Washington.

36. Kmenta, S., Fitch, P. ve Ishii, K. (1999). Advanced Failure Modes and Effects Analysis of Complex Process. *Proceedings of the ASME DETC: DFM*. Las Vegas.

37. Krivtsov, V.V. ve Davis T.P. (2005). "Reliability from Field to the Bench" Mühendislik Semineri, Ford Motor Company.
38. Lewis, E.E. (1995). *Introduction to Reliability Analysis* 2nd Ed., J. Wiley and Sons, New York.
39. Madu, C.N. (1999). *House of Quality in a Minute*. Chi Publishers, Farfield.
40. Mc Dermott, R.E., Mikulak, B.J. ve Baeuregard, M.R. (1996). *The Basics of FMEA*. Productivity Press, Portland.
41. Meeker, W.Q. ve Escobar, L.A. (1998). *Statistical Methods for Reliability Data*, J. Wiley and Sons, New York.
42. MIL-STD-1629A. (1994). Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Navalship Engineering Center, Washington.
43. Modarres, M. (1992). *What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis*. Marcel Dekker, New York.
44. Modarres, M., Kaminsky, M. ve Krivtsov, V. (1999). *Reliability Engineering and Risk Analysis*, Marcel Dekker, New York.
45. Montgomery, T., Pugh, D., Leedham, S. ve Twitchett, S. (1996). FMEA Automation for the Complete Design Process. *Proceedings of the 1996 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium*.
46. Musubeyli, N.E. Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği için Bir Model ve Uygulaması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi* 15 (3).

47. Odak Danışmanlık. (2004). Tasarım ve Proses HTEA Eğitim Notları, İstanbul.
48. Omdhal, T.P. (1988). *Reliability, Availability and Maintainability Dictionary*. ASQC Quality Press, Milwaukee.
49. Pahl, G. ve Beitz, W. (1996). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer, New York.
50. Palady, P. (1995). *Failure Modes and Effects Analysis: Predicting a Preventing Problems Before They Occur*. PT Publications, Florida.
51. Rausand, M. (2004). Risk Analysis: An Introduction. Dept. of Production and Quality Engineering – Norwegian University of Science and Technology.
52. Stamatis, D. H. (1995). *Failure Mode and Effects Analysis from Theory to Execution*. ASQC Quality Press, Milwaukee.
53. Tornenکو, J. (1997). *Step-by-Step QFD – Customer Driven Product Design*. St. Lucie Press, Florida.
54. Ulrich, K. ve Eppinger, S. (1995). *Product Design and Development*. Mc Graw-Hill Inc., New York.
55. Vandenbrande, W.W. (1999). How to Use FMEA to Reduce the Size of Your Quality Toolbox. *Quality Control and Statistics*, Vol.44.

EKLER

GÜVENİLİRLİK VE ROBUSTLUK KONTROL LİSTESİ

Program: 2008 İ5

Proje: Ford Transit

Sistem: Kardan Mil

										DOĞRULAMA METOTLARI																								
IDEAL FONKSİYONLAR																																		
TORK AKTARMAK																																		
DEVİR AKTARMAK																																		
EKSENEL DEPLASMANI KARŞILAMAK																																		
AÇISAL DEPLASMANI KARŞILAMAK																																		
SERVİS BEKLENTİLERİNİ KARŞILAMAK																																		
										HATA DURUMLARI																								
										TIRSAN KARDAN AŞ																								
										KARDAN MİLİ AKMA DAYANIMI TESTİ																								
										AŞIRI HIZ TESTİ																								
										YORULMA TESTİ																								
										GRES KAYIP TESTİ																								
										MODAL ANALİZ																								
										SPLINE AŞINMA TESTİ																								
										CAMUR TESTİ																								
										MAFSAL AÇISI KONTROLÜ																								
										SOGUK BAŞLANGIÇ TESTİ																								
										SICAK BAŞLANGIÇ TESTİ																								
										DİNAMİK DAYANIKLILIK TESTİ																								
										FORD MOTOR COMPANY																								
										BUMP TESTİ																								
										DUR-KALK TESTİ																								
										UZUN YOL TESTİ																								
										VİT. KUTUSU/KAR. MİLİ/AKS GÜRÜLTÜ DEĞERLENDİRME TESTİ																								
										ALT TEDARİKÇİLER																								
										ASKI DAYANIKLILIK TESTİ																								
										ELASTİK KAPLIN BURULMA EĞİLME TESTİ																								
										ELASTİK KAPLIN YORULMA TESTİ																								
										ELASTİK KAPLIN SICAKLIK YASLANMA TESTİ																								
										TUZ TESTİ																								
YARARLI ÖMÜR DÖNEMİ																																		
J BOŞLUK																																		
I BALANS SACININ DÜŞMESİ																																		
H KOROZYON																																		
G TORK KAYBI																																		
F MAFSAL SIKILIĞININ YÜKSEK OLMASI																																		
E TİTREŞİM/GÜRÜLTÜ																																		
D KARDAN MİLİNİN KRİTİK DEVİR BANDINA YAKIN DEVİRDE ÇALIŞMASI																																		
C KULAKLI PARÇALARIN BİRBİRİNE ÇARPMASI																																		
B KAYICI GRUBUNUN BİRBİRİNDEN AYRILMASI																																		
A KARDAN MİLİ DETAY PARÇALARINDA YAPISAL BOZUKLUKLAR																																		
										G. F. YÖNETİM STRATEJİSİ																								
										Teknolojiyi Değiştir																								
										Parametrik Tasarım Uygula																								
										Gürültüyü Azalt / Kaldır																								
										Kompanse Et																								
Metrik																																		
										A																								
										B																								
										C																								
										D																								
										E																								
										F																								
										G																								
										H																								
										I																								
										J																								
G 1 : PARÇADAN PARÇAYA DEĞİŞKENLİK																																		
a) BOŞLUK																																		
b) BALANSİZLİK																																		
c) GRES MİKTARI																																		
d) MAFSAL SIKILIĞI																																		
e) KAYICI GRUP ÇEKME KUVVETİ																																		
G 2 : ZAMAN İÇERİSİNDEKİ DEĞİŞKENLİK																																		
a) AŞINMA																																		
b) YIRTILMA																																		
c) DEFORMASYON																																		
d) MAFSAL SIKILIĞININ AZALMASI																																		
e) SIKMA TORKUNUN AZALMASI																																		
f) GRES KAYBI																																		
g) KOROZYON																																		
G 3 : MÜŞTERİ KULLANIMI																																		
a) AŞIRI OFF-ROAD KULLANIMI																																		
b) AŞIRI UZUN YOL KULLANIMI																																		
c) MÜŞTERİ KULLANMA ÇEVİRİMİ																																		
d) ÇOK SIK İVMELENME/FRENLEME																																		
e) AŞIRI YÜKLEME																																		
f) MÜŞTERİ TARAFINDAN YAPILAN MODİFİKASYONLAR																																		
G 4 : DIŞ ÇEVRE																																		
a) ORTAM SICAKLIĞI																																		
b) NEM																																		
c) OZON																																		
d) YABANCI MADDELER																																		
e) YOL EĞİMİ																																		
f) YOL YÜZEY PROFİLİ																																		
G 5 : SİSTEM ETKİLEŞİMİ																																		
a) MOTORDAN GELEN TİTREŞİMLER																																		
b) SÜSPANSİYON SİSTEMİ (Yük, Aç)																																		
c) ŞOK YÜKLER																																		
d) FRENLEME YÜKLERİ																																		
e) KOMŞU SİSTEMLERDEN GELEN YÜKSEK SICAKLIK																																		
f) ASKI BAĞLANTI NOKTASI HASSASİYETİ																																		