KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATA TÜRÜ ETKİLERİ ANALİZİ VE KALİTE ARAÇLARI KULLANILARAK BAKIR PROFİL ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

TANSU ARİF DAYAN

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATA TÜRÜ ETKİLERİ ANALİZİ VE KALİTE ARAÇLARI KULLANILARAK BAKIR PROFİL ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

TANSU ARİF DAYAN

Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Dr. Öğr. Üyesi Hatice ESEN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Dr. Öğr. Üyesi Berrin DENİZHAN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.02.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez konusunun ve başlığının belirlenmesinde, içeriğinin oluşturulmasında, okunmasında ve düzeltmelerde desteğini eksik etmeyen, bilgi ve deneyimi ile her zaman yanımda olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Alpaslan Fığlalı'ya öncelikle çok teşekkür ederim.

Tezin uygulamalı kısmında, fabrikada benden yardımlarını esirgemeyen, elinden gelen yardımı gösterip benim bu çalışmayı hazırlamamda bana büyük yardımları dokunan tüm şirket yönetimi ve çalışanlarına çok teşekkür ederim.
Son olarak maddi ve manevi beni destekleyen bütün çalışmam boyunca yardımını, desteğini ve sevgisini esirgemeyen canım aileme çok teşekkür ederim.

Şubat - 2019 Tansu Arif DAYAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
GİRİŞ 1
1. HATA KAVRAMI 5
1.1. Hataları Sınıflandırma 5
1.1.1. Meydana geldikleri aşamaya göre hatalar 5
1.1.2. Sonuçlarına göre hatalar 5
1.1.3. Zamana göre hatalar 6
1.1.4. Nedenlerine göre hatalar 6
2. GÜVENİLİRLİLİK 8
2.1. Güvenilirlik Tanımı 8
2.2. Güvenilirliğin Önemi 10
2.3. Tasarımda Güvenilirlik 12
2.4. Bakım ve Güvenilirlik 12
2.5. Ürün Ömür Eğrisi 13
2.6. Güvenilirlik Yönetimi 14
2.6.1. Güvenilirlik programıyla ilgili sorumluluklar 14
2.6.2. Güvenilirlik programları için askeri şartname 15
2.6.3. Ürün yaşam döngüsünde güvenilirlik ve sürdürülebilirlik 17
2.6.3.1. Kavram ve tanımlama fazı 17
2.6.3.2. Kazanım fazı 18
2.6.3.3. Operasyon ve bakım fazı 18
2.6.3.4. Elden çıkarma fazı 19
2.6.4. Güvenilirliğin denetimi ve programındaki güçlükler 19
2.6.5. Güvenilirlik mühendisliği sorumlulukları 20
2.6.5.1. Güvenilirlik mühendisliği birimi sorumlulukları 20
2.6.5.2. Sürdürülebilirlik mühendisliği birimi sorumlulukları 21
2.6.6. Güvenilirlik personeli 21
2.7. Güvenilirlik Analizleri 22
2.7.1. Hata ağacı analizi 23
2.7.2. Tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları (HACCP) 24
2.7.3. Kök sebep analizi 25
2.7.4. Sebep Sonuç Diyagramı 25
2.7.5. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA) 26
3. HTEA KAVRAMI 27
3.1. HTEA Tanımı 27
3.2. HTEA Tarihçesi 28
3.3. HTEA' nın Uygulanma Nedenleri ve Özellikleri 30

3.4. HTEA Projesini Başlatma 35
3.5. HTEA Projesini Sona Erdirme 37
3.6. HTEA Çalışma Ekibini Oluşturma 38
3.7. HTEA Yararları 40
3.8. HTEA Çeşitleri 40
3.8.1. Sistem HTEA 41
3.8.2. Tasarım HTEA 43
3.8.3. Proses HTEA 46
3.8.4. Servis HTEA 48
3.9. HTEA' nın Kapsamı 49
3.10.Karar Alma Süreci ve Hazırlık Çalışmaları 49
3.11.HTEA Takımını Oluşturma 50
3.12.HTEA Uygulama Süreci 52
3.12.1.Analiz etme 52
3.12.1.1.Sistemin analizi ve uygulanacak yaklaşım seçimi 52
3.12.1.2.Fonksiyonların belirlenmesi 54
3.12.1.3.Olası hatalar 56
3.12.1.4.Olası hata etkileri 58
3.12.1.5.Olası Hata Nedenleri 59
3.12.2.Değerlendirme 60
3.12.2.1.Oluşma (O) 61
3.12.2.2.Şiddet (S) 62
3.12.2.3.Tespit (T) 63
3.12.2.4.Risk öncelik sayısı (RÖS) 63
3.12.3.Sonuçların değerIendirilmesi 66
3.12.3.1.Düzeltici önlemler 68
3.12.3.2.İzleme 68
3.12.3.3.Doğrulama 69
4. UYGULAMA 70
4.1. Firma Tanıtımı 70
4.2. Üretim Sürecine Yönelik Akış Şeması 71
4.3. İncelenen Hata Türü 73
4.4. Probleme Yönelik Kalite Araçlarının Uygulanması 74
4.5. Probleme Yönelik Hata Türü 75
4.6. Hata Nedenlerinin Tespiti 75
4.6.1. 5N Analizi 75
4.6.2. Neden – Sonuç diyagramı 76
4.7. Hatanın Etkileri 77
4.8. Yapılan Kontroller 78
4.9. Probleme Yönelik HTEA Çizelgesi 78
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 82
KAYNAKLAR 85
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 91
ÖZGEÇMİŞ 92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Algılanan Risk Kaynakları 9
Şekil 2.2. Toplam Maliyetlere Göre Güvenilirlik 12
Şekil 2.3. Ürün Ömür Eğrisi 13
Şekil 2.4. Güvenirlik Analizi Tipleri 23
Şekil 2.5. Güvenilirlik Analizi Uygulamaları 24
Şekil 2.6. Sebep-Sonuç Diyagramı 25
Şekil 3.1. HTEA İlişkileri 33
Şekil 3.2. QS 9000 Ana Unsurları 34
Şekil 3.3. Toplam Kalite Sisteminde HTEA'nın Rolü 34
Şekil 3.4. Ürün Mühendisliği ve HTEA'nın Yol Haritası 36
Şekil 3.5. Tasarımın Değerlendirilmesi 37
Şekil 3.6. Reaktif ile Proaktif Sistemin Karşılaştırılması 39
Şekil 3.7. HTEA Çeşitleri 41
Şekil 3.8. Sistem ve Alt Sistem Arasındaki Etkileşim 42
Şekil 3.9. Parça Geliştirme 45
Şekil 3.10. Tasarım ve Proses HTEA'nın Sürekli Gelişime Etkisi 47
Şekil 3.11. HTEA Yönetimi 50
Şekil 3.12. HTEA Uygulama Süreci 52
Şekil 3.13. Yaklaşımların Şematik Gösterimi 53
Şekil 3.14. Hata Nedeni-Hata Türü-Hata Etkileri İlişkileri 60
Şekil 3.15. HTEA Uygulama Sürecindeki Analiz Etme İlişkisi 60
Şekil 3.16. RÖS Hesaplaması 64
Şekil 3.17. HTEA Formu 67
Şekil 4.1. Bakır Çubuk İş Akış Şeması 72
Şekil 4.2. Düz Lama İş Akış Şeması 73
Şekil 4.3. Neden Sonuç Diyagramı 76
Şekil 4.4. Probleme Yönelik Pareto Diyagramı 81

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. HTEA Yayınlarından Bir Kısmının Listesi 29
Tablo 3.2. Fonksiyon Örnekleri 55
Tablo 3.3. Oluşma Puanlandırma Rehberi 62
Tablo 3.4. Şiddet Puanlandırma Rehberi 62
Tablo 3.5. Tespit Puanlandırma Rehberi 63
Tablo 3.6. Uç Noktalar 66
Tablo 3.7. Tasarım HTEA Düzeltici Faaliyetleri 68
Tablo 4.1. Problemle ilgili Çetele Tablosu 74
Tablo 4.2. Risk öncelik sayısı şiddet değerlendirme tablosu 79
Tablo 4.3. Risk öncelik sayısı hata olasılığı değerlendirme tablosu 79
Tablo 4.4. Risk öncelik sayısı saptanabilirlik değerlendirme tablosu 79
Tablo 4.5 HTEA Çizelgesi I 80
Tablo 5.1 HTEA Çizelgesi II 84

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

AIAG	:	Automotive Industry Action Group(Otomotiv Endüstrisi Faaliyet Grubu)
AMDEC	:	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités(Hata Modlarının Etkileri, Analizi ve Kritikleri)
BS	:	British Standarts(İngiliz Standartları)
CNF	:	Cumulative Number of Failures(Kümülatif Hataların Toplamı)
D	:	Design(Tasarım)
DIN	:	Deutsches Institut für Normung(Alman Standardizasyon Enstitüsü)
f	:	Fonksiyon
FMEA	:	Failure Modes and Effect Analysis (Hata Türü ve Etkileri Analizi)
HTEA	:	Hata Türü ve Etkileri Analizi
HACCP	:	Hazard Analysis and Critical Control Points(Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları)
IEEE	:	Institue of Electrical and Electironics Engineers(Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IPK	:	İstatiksel Proses Kontrol
ISO	:	International Organization for Standardization(Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
M	:	Maintenance(Bakım)
O	:	Oluşma
QFD	:	Quality Function Deployment(Kalite Fonksiyon Açılımı)
QS	:	Quality Standards(Kalite Standartları)
ROS	:	Risk Öncelik Sayısı
S	:	Şiddet
SAE	:	Society of Automotive Engineers(Otomotiv Mühendisleri Birliği)
T	:	Tespit
TKY	:	Toplam Kalite Yönetimi
TQM	:	Total Quality Management(Toplam Kalite Yönetimi)
TS/ISO	:	Technical Specification/ International Organization for Standardization (Teknik Spesifikasyon/Uluslararası Standardizasyon Örgütü)

HATA TÜRÜ ETKİLERİ ANALİZİ VE KALİTE ARAÇLARI KULLANILARAK BAKIR PROFİL ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışma HTEA tanımı, geçmişi ve önemini içermektedir. Çalışmanın giriş kısmında kalite metodolojisinden, genel tanımından ve Toplam Kalite Yönetimi(TKY) ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Devamında TKY'nin uygulanmasında etkili bir yöntem olan HTEA kavramı ele alınmıştır. İkinci kısımda hata kavramı, hataların meydana gelme durumuna göre, sonuçlarına göre zamana göre ve nedenlerine göre gruplandırılması açıklanmıştır. Üçüncü kısımda güvenilirlik kavramının tanımlaması, analizleri, yönetimi detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bir sonraki bölümde ise HTEA kavramının tanımı, tarihçesi, uygulanma nedenleri, uygulama aşamaları, analizin yararları ve çeşitleri yer almaktadır. Çalışma Hata Türü ve Etki Analizi'nin araç olarak kullanıldığı bir uygulama ile sonlanmaktadır. Uygulamada bakır profili üretimi yapan bir firmada verim düşüklüğü tespit edilen kritik bir prosesin iyileştirilmesi için uygulanan Pareto analizi, 5N analizi, Neden-Sonuç(Balık Kılçığı) diyagramı ve gerçekleştirilen HTEA süreci anlatılmaktadır. Temel sorun; sürecin başlangıç aşaması olan dökümün takozlar halinde kesildikten sonra, istenen şeklin bu takoza verilmesi için ekstrüzyon prese gönderilmesi aşamasında, müşterinin talep ettiği ürünün kimyasal özelliği preste ve dökümde aynı olmamasıdır. Bu sorun müşteri siparişine uygun ürün üretilmemesine ve müşteriye istenilen miktarda bakırı tekrar üretebilmek için yeniden işleme maliyetlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Darboğaz oluşumuna sebep olan hata ve nedenleri incelenmiş ve risk öncelik katsayıları(RÖS) hesaplanmıştır. Çalışmanın son aşamasında düzeltici faaliyetlerin uygulanması sonrası %41 oranında fayda elde edildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakır, Güvenilirlik, HTEA, Toplam Kalite Yönetimi.

INCREASING COPPER PROFILE PRODUCTION EFFICIENCY USING ERROR TYPE EFFECTS ANALYSIS AND QUALITY TOOLS

ABSTRACT

This study covers FMEA definition, history and significance. The introduction to the work includes information on quality methodology, general description and Total Quality Management. The concept of FMEA, an effective method for the implementation of TQM, has been discussed. In the second part, it is explained that the concept of error, the grouping of errors according to the occasion, the results according to the time and the reasons. In the third part, the definition, analysis and management of the concept of reliability are explained in detail.In the next section, the definition of FMEA concept, history, reasons for implementation, implementation steps, benefits and types of analysis are included. The study concludes with an application where Failure Mode and Effective Analysis are used as tools. In this study, Pareto analysis, 5N analysis, Reason-Result (Fishbone) diagram and the process of HTEA applied for the improvement of a critical process in which a low yield is detected in a firm producing copper profile is described. This problem; after the start of the process, that is to say the casting and cutting into wedges, the chemical characteristic of the product requested by the customer is not the same in the press and casting, and therefore the product is not produced according to the customer order and the customer is facing with re-processing costs. The failures and reasons of the bottleneck were examined and risk priority coefficients (ROS) were calculated. In the last stage of the study, it was observed that 41% of the benefits were obtained after the implementation of corrective actions.

Keywords: Copper, Reliability, FMEA, Total Quality Management.

GİRİŞ

Dünya sürekli değişmekte olan bir yapıya sahiptir. Küreselleşen dünya beraberinde güçlü değişimleri getirmektedir. Bu değişimler, özel sektörü de kamu sektörünü de daha rekabetçi olmaya yönlendirmektedir. Gelişmekte olan ülkeler arası rekabet, iş ve yönetim kavramları günümüzde kurumları mükemmeli aramaya yöneltmiştir(Yaş,2009). Bu arama sonucunda ulaşılan ortak kavram kalite olmuştur.

Kalite kavramı günlük yaşam da dâhil birçok alanda kullanılmakta ancak kavramın tek bir tanımlaması yoktur. Tanımlar arasındaki farklılıklar genel olarak, kalite kavramının çok boyutlu olmasından kaynaklanmaktadır(Sarıkaya,2003). Yatkın'da(2004) teknolojideki gelişim, küreselleşen dünya ekonomisi, tüketicinin satın alma gücü gibi nedenlerden dolayı kalitenin farklı tanımlanmasına sebep olduğunu belirtmektedir. Şimşek(2007) ise kalite kavramının kişisel değerleri içermesinden dolayı kalite anlayışının toplumlar arasında farklı algılandığını ve birçok faktörün altında değişik yapı göstermesine sebep olduğunu çalışmasında anlatmaktadır. Köseoğlu ve diğerleri(1995) kaliteyi 'kullanım amacına ve spesifikasyonlara uygunluk' olarak tanımlamış ve planlanan kalite seviyesinde üretim yapabilmek için kalite tekniklerinin rasyonel olarak kullanılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Toplam kalite yönetimi anlayışına uygun olan kalite yönetimi metotları seçilerek işlerlik kazandırılabilir. Bununla birlikte doğru metodun seçilmesi ve başarıya ulaşması kişilerin bilgisine ve bu metotların doğru biçimde anlaşılmasına bağlıdır. TKY metotları eğer doğru şekillerde kullanılmazlarsa yararlı olmaktan oldukça uzak olurlar(Kanji, G.K. and Asher, M., 1996).

Kalite gelişimi için problem çözümünde, TKY metotlarının temel rolü, müşteri gereksinimleri ile karşılaşılmasına yardımcı olmalarıdır. Metotlar ayrıca temeli derinde yatan sebeplerin ve potansiyel çözümlerin bulunmasına ve kalitenin sağlanmasında en iyi seçeneğin tercih edilmesinde kullanılacak bilgi ve verilere de katkıda bulunur((Kanji, G.K. and Asher, M., 1996). Bajaj ve diğerleri(2018), geçmiş

20 yılda geniş bir alanda yayınlanan TKY uygulamaları ve etkileri araştırma konularına sahip 102 araştırma makalesini inceleyerek Pareto Analizi uyguladıkları çalışmalarında TKY'nin sektöre bağlı olmadan uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır. TKY'nin temel taşlarından bir tanesi sürekli iyileşmedir. Sürekli iyileşme, geçmişteki sorunların öğrenilerek, gelecekte onların yeniden ortaya çıkmalarının önlenmesiyle gerçekleşecektir. Hata Türü ve Etkileri Analizi de bu amaca hizmet eden bir tekniktir. HTEA, bu özelliklerinden dolayı Toplam Kalite Yönetimi'nde önemli bir yere sahiptir(Akpınar,2015). Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Toplam Kalite Yönetimi (TKY) anlayışında yer bulan; "proaktif" nitelikli (hatalar meydana geldikten sonra durumu düzeltmeye çalışmak yerine, onları önlemeyi amaçlayan), uygulanması kolay ve düşük maliyetli bir kalite iyileştirme tekniğidir(Aydan ve Kaya, 2017).

Hata Türü ve Etkileri Analizi-(HTEA) Toplam Kalite Yönetimi'nin uygulanmasında sık kullanılan metotlardan bir tanesidir. Ayaz(2018) çalışmasında HTEA'nın hata etkilerinin ortaya çıkarılmasında ve riskleri önceliklendirilmesinde önemli bir kalite aracı olduğunu belirtmiştir. HTEA aynı zamanda ürün ya da proseslerdeki potansiyel hataların tespitinde kullanılan bir kalite yönetim sistemi metodudur (Chin, vd., 2009).

Firmalar rekabet ortamında geride kalmamak için hataları önlemek ve sahip olunan risklerin oranını düşürmek mecburiyetindedirler. HTEA; sistem, tasarım, süreç veya serviste oluşabilecek hataların değerlendirmesini ve bu tür hataların (problemler, yanlışlıklar, riskler v.s.) sürekli azaltılmasını hedefleyen özel bir metodolojidir (TÜV Südwest, 2002). Risk değerlendirmesi için Toptancı ve Erginel (2017) inşaat alanında olan olası tehlikelerin belirlenip azaltılarak; tehlikelerden dolayı oluşan kazaların sayısının asgari düzeye indirilmesi için HTEA ve Kalite Fonksiyon Yayılımı yöntemlerini bir arada kullanmışlardır.

HTEA üretim proseslerinde istenmeyen değişmeleri engellemeye olanak sağladığı gibi, üretim dışındaki konularda da kullanılmaktadır. Eleren (2007), çalışmasında işletme lisans programlarında bulunan üretim yönetimi dersinin eğitim sürecinde başarısızlığa neden olan hata türlerini HTEA ile değerlendirmiştir. En iyi değere ulaşabilmek için HTEA bir ürün veya süreç hata türlerinin, ürün veya süreç içerisine

dahil edilmesinden önce yapılmalıdır. HTEA'nın uygun olarak tamamlanması için önceden harcanacak zaman, ürün ve süreç değişikliklerinin en kolay ve en ucuz yapılacağı zamandır ve daha sonraki aşamalarda yapılacak değişiklik krizlerini en alt düzeye getirecektir. Bir HTEA, daha büyük problemler doğuracak bir önleyici ve düzeltici değişiklik uygulama ihtiyacını azaltacak veya ortadan kaldıracaktır. Burada bütün HTEA türleri arasında iletişim ve işbirliği olmalıdır (Tunçelli, 2006).

HTEA sistem içerisindeki önemli hataları belirlese de, tek başına kapsamlı bir iyileştirme tekniği olduğunu iddia etmek güçtür ve bu nedenlerden dolayı pareto analizi, balık kılçığı diyagramı ve diğer kalite iyileştirme teknikleri ile birlikte kullanılması daha uygun görülmektedir (Shebl ve ark., 2009; Potts ve ark. , 2014; Franklin ve ark, 2012; Sönmez,2017).

Literatürde de HTEA'nın verimliliğini artırmak için yapılmış çalışmalar mevcuttur. Şişman(2017) yaptığı çalışmada HTEA'da değerlendirme aşamasının zor olmasından dolayı bulanık AHP ve bulanık VIKOR yöntemlerini kullanmış ve kullandığı yöntemlerin risk değerlendirme sürecinde etkin ve faydalı sonuçları olduğunu göstermiştir. Sönmez (2017)'de otomotiv parçaları üzerine yaptığı çalışmasında HTEA uygulanırken AHP, bulanık mantık, gri teori gibi karar destek sistemlerinden faydalanılmasının sonuçları daha objektif hale getirdiği sonucuna ulaşmıştır. HTEA yönteminin etkinliğini artırmak için yapılmış olan diğer çalışmalar şu şekildedir: TOPSIS (technique for ordering preference by similarity to ideal solution) (Song vd., 2013), VIKOR (Liu vd., 2012), analitik hiyerarşi prosesi (AHP) (Sachdeva vd., 2008), gri teori (Tan ve Du, 2013; Zhou ve Thai, 2016), veri zarflama analizi (VZA) (Chang ve Sun, 2009), sezgisel bulanık hibrid TOPSIS (Liu vd., 2015), bulanık önceliklendirme metodu (Özfırat, 2014), kaba TOPSIS (Song vd., 2014), DEMATEL (decision making trial and evaluation laboratory) (Chang vd., 2013b; Seyed-Hosseini vd., 2006), uzman sistem (Sankar ve Prabhu, 2001; Sharma vd., 2005), hibrid yaklaşımlar (Kutlu ve Ekmekcioğlu, 2012; Chang vd., 2013a, Vahdani vd., 2015; Liu vd.,2014) Bulanık PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)(Yerlikaya vd. 2016) HTEA yöntemi tanker ekipmanlarındaki hataların tahmin edilmesi (Zhou ve Thai, 2016), çelik üretim prosesi (Vahdani vd., 2015), gemi ekipmanlarındaki hatalar (Tan ve Du, 2013), motor sistemi (Xu vd., 2002), otomotiv sanayisi (Kutlu ve Ekmekcioğlu, 2012),

maden sanayi (Özfırat, 2014) ve anestezi süreçleri (Liu vd., 2012) gibi farklı birçok dalda kullanılmıştır.

Bu çalışmada hatanın kök nedenlerine ulaşabilmek için HTEA ile beraber 5N analizi, Çetele tablosu, neden-sonuç diyagramı ve pareto analizinden yararlanılmıştır. Uygulamada bakır profil üretimi yapan bir firmada firmanın düşük verim almasına neden olan bir hata üzerinde durulmuştur. Bu problemde; Sürecin başlangıcından yani döküm yapılıp takozlar halinde kesildikten sonra, istenen şeklin bu takoza verilmesi için ekstrüzyon prese gönderilmesi aşamasında, müşterinin talep ettiği ürünün kimyasal özelliği preste ve dökümde aynı olmaması ve bundan dolayı müşteri siparişine uygun ürün üretilmemesi ve müşteriye istenilen miktarda bakırı tekrar üretebilmek için yeniden işleme maliyetlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Amacımız üretim esnasında dar boğaz oluşumuna sebep olan hatayı belirlemek ve düzeltici faaliyetlerde bulunmaktır. Çalışmada öncelikle firmada incelenen problemin meydana gelme sıklığını belirleyebilmek için döküm çetele tablosu hazırlanmıştır. Çetele tablosunda üretim sonrasında uygun olmayan ürünler tabloda gösterilmiştir. Uygun olmayan ürünlerin üretilmesine sebep olan hatanın nedenlerine ulaşabilmek için 5N analizinden yararlanılmıştır. Hata nedenlerinin insan, çevre, yönetim ve metot ana gruplarına ayrılması da neden-sonuç diyagramı yardımı ile yapılmıştır. Daha sonra HTEA yapabilmek için RÖS değerleri belirlenen hata nedenleri ile beraber hesaplanmış ve HTEA çizelgesi oluşturulmuştur. Yüksek RÖS değerine sahip hata nedenlerinin belirlenmesi ve hangi nedene karşı önlem alınması gerektiğinin belirlenebilmesi için Pareto analizi uygulanmıştır.

1. HATA KAVRAMI

İnsanların, makinaların, malzemelerin, yöntemlerin ve benzeri ürün veya hizmet faktörlerinin istenen performans ve özellikleri sağlayamamasından dolayı çıktılarda meydana gelen istenmeyen değişmelere hata denilmektedir. (Boran, 1996)

Başka bir ifadeyle hata; Girdi, proses ve çıktıya ürün ve hizmet kalitesini etkileyen makine, yöntem, malzeme ve insan unsurlarından biri veya bir kaçında belirlenen şartların, spesifikasyonların, standartların dışına çıkma durumuna hata denir(Bakkurt, 2004).

1.1. Hataları Sınıflandırma

Genel olarak hataları meydana geldikleri aşamaya göre, sonuçlarına göre, zamana göre ve nedenlerine göre sınıflandırabiliriz(Aydın, 2004).

1.1.1. Meydana geldikleri aşamaya göre hatalar

Meydana geldiği aşamaya göre hatalar şu şekilde sınıflandırılabilir (Baraçlı, 1998);

- Tasarımla ilgili hatalar, işlemsel zorlanmanın, tasarım dayanıklılığını aştığı zaman ortaya çıkan hatalardır,
- Üretimle ilgili hatalar tasarım özellikleri üretim sürecindeki faktörlerle bozulduğu zaman gözüken hatalardır,
- Kullanımla ilgili hatalar, normal çalışma ömrü esnasında aşırı işlemsel zorlama veya bakımla ilgili sorunlardan kaynaklanan hatalardır.

1.1.2. Sonuçlarına göre hatalar

Sonuçlarına göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir. (Baraçlı, 1998)

- Felaket getirici hata, ölüme ve çok büyük sistem hasarına yol açan hatalardır,
- Kritik hata, ciddi yaralanma, mal hasarına ve küçük sistem hasarına neden olabilen hatalardır,
- Marjinal hata, küçük yaralanma, küçük mal hasarı veya küçük sistem hasarına neden olan hatalardır,

- Küçük hata, yaralanma, mal hasarına neden olmayan planlanmış bakım ve tamir gerektiren hatalardır,
- Önemsiz hata, etkileri hissedilmeyen hatalardır.

1.1.3. Zamana göre hatalar

Zamana göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Baraçlı, 1998);

- Ani hatalar, ürün veya sistemin zorlanması sonucu işlevlerini aniden kaybetmesi sonucu ortaya çıkan hatalardır,
- Kademeli hatalar, aşınma ve eskimenin etkilerinin bir araya gelmesiyle zamanla ortaya çıkan hatalardır.

1.1.4. Nedenlerine göre hatalar

Nedenlerine göre hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir: (Boran, 1996)

- Tasarım hataları, ürün ve tasarım amaçlarını, performans isteklerini ve müşteri beklentilerini karşılamadığında ortaya çıkan hatalar olarak tanımlanabilir. Ürünün temel özellikleri olan yapı, fonksiyon ve görünüş özelliklerinin sağlanması sırasında (ürün gerçekleştirme ve/veya üretim) aşağıdaki hatalar oluşabilmektedir.
- Malzemelerdeki hatalar, malzemelerin üzerinde işlem uygulayan sistemin özelliklerinin değişmesi veya imalat, stoklama, taşıma, kontrol, kullanım ve onarım işlemleri esnasında aşırı kuvvet uygulaması sonucunda oluşur. Malzeme hataları iki grupta toplanabilir: Bunlardan birincisi aşırı kullanım hataları, ikincisi ise aşınma-eskime hatalarıdır.
- Ölçmedeki hatalar, ölçülen cismin gerçek değeri ile hesaplanan değeri arasındaki farktır. Bilimsel araştırma sonuçları sayısal büyüklükler ile ifade edilmelidir. Üretimde, mamul veya parçaların tasarım aşamasında belirlenen ölçülerin şekil verme işlemlerinden sonra gerçekleşme oranının bilinmesi gereklidir. Bunun dışında işlem uygulama sırasında ölçülen ara değerler, tezgah ve takım ayarları, işlem sürelerinin gereksiz yere uzamasının engellenmesi ve beraberinde maliyetlerin düşürme açısından büyük önem taşımaktadır. Ölçme değerlerindeki değişmenin kaynağı; imalat işlemleri ve ölçme aletleridir. Ölçme tekniğindeki ana problem, değişmelerin ne kadarının hangi kaynaktan oluştuğunu belirlemektir.

- Karar verme hatası, mevcut seçeneklerden, uygulanacak olanı seçme sürecidir. Karar vermedeki amaç, sistemin istenen düzeye ulaşmasını sağlamaktır. Karar verme yetkisi bulunan kişiler(karar vericiler) bazı sebeplerden kaynaklı, istenmeyen sonuçlara sebep olarak hatalı karar alabilirler.
- Örnekleme hataları, ekstra durum olmaksızın, maliyeti daha düşük ve hız açısından daha iyi olduğundan %100 muayene yerine kullanılan bir yöntemdir. Ancak belli orandaki ürünün kabul alması ile yapılan kabul örneklemesinde sürekli hata yapma söz konusudur. Bu hatalar iki gruba ayrılır; kabul edilebilir durumdaki bir parti ürünün red edilmesi ile oluşan hatalar ve red edilmesi gereken bir parti ürünün kabul edilmesi ile oluşan hatalardır.
- Mekanik hata, yapı, makina veya kendisinden beklenen işlevi umulan bir derecede yerine ivme yetisi bulunmayan bir makina parçasının boyut, şekil ya da malzeme özelliklerindeki değişmedir. Makine mühendislerinin öncelikli sorumluluklarından bir tanesi yapılan dizaynın işlevlerinin beklenen dizayn ömrüne sahip olduğunu garanti etmesi ve piyasa içerisinde rekabet edebilme özelliğinin olmasıdır.
- Sistemsel hatalar ise daima meydana gelen hatalardır. Örneğin sıradan bir kalemin hata yapacağı anı belirlemek imkansızdır. Sonuçta özel bir parçanın güvenilirliliği tahminler ile değil istatistiksel analiz kullanılarak baz yapılır. İşletmelerin tasarımlanının iyi olarak kabul edilebimesi için bir hatanın tanımlama ve önleme prosesi içinde çalışmayı güvenli, maliyetleri minumuma düşürerek ve hataların etkilerini tahmin ederek ilerlemesi gerekmektedir.
- Yazılımdaki hatalar, donanım v.b gibi hatalardan farklı bir yapı içerisindedir. Bilgisayar yazılımlarının kopyalarıyla orjinalleri aynı olduğundan aralarında farklılık söz konusu değildir, bu nedenle buna bağlı bir hata beklenemez. Yazılım hatalarının en önemli kaynağı insandır.

2. GÜVENİLİRLİLİK

2.1. Güvenilirlik Tanımı

Teknolojik, toplumsal, kültürel ve ekonomik gelişmelere paralel olarak, sistemlerin hizmetlerin ve ürünlerin yapılarındaki karmaşıklık da artmıştır. Bir ürünün herhangi bir parçasının arızalanması ürünün işlerliğini yitirmesine, hizmetlerdeki aksama müşteri memnuniyetsizliğine neden olabilmektedir. Bu nedenle, ürünün, hizmetin işlevlerini yerine getirebilmesi, onların istenen düzeyde ve belirlenen bir zaman aralığında, 'güvenilir' olmalarıyla sağlanacaktır. Tüketici açısından bir ürün, sistem ya da hizmetin en önemli özelliklerinden biri güvenilirliktir.

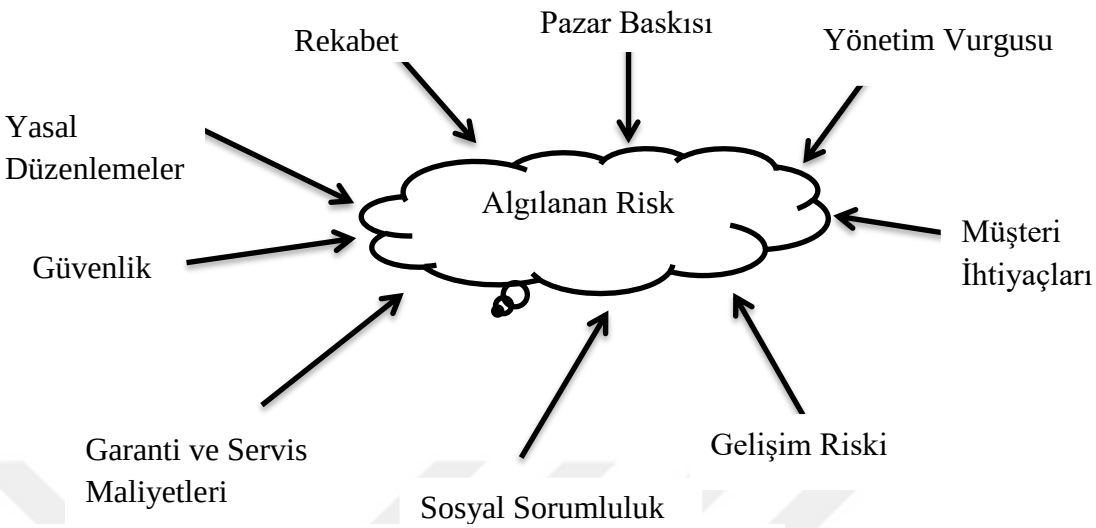
1950'lerin başlarından beri 'güvenirlik' kelimesi üretilen ürünün kalitesinin kontrolüyle ilgili olarak özel teknik bir anlam içermekteydi. Günümüzde de üretilen mal ve hizmetlerde kalitenin önemi gittikçe artmaktadır. Özellikle, rekabet ve serbest pazar düzeninin bulunduğu ülkelerde, çoğu zaman kalite, fiyattan önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca, tasarım aşamasında yapılan denemeler de, iyi kalitenin yüksek güvenilirliğinin temel bileşenlerinden biri olduğunu göstermiştir.

Bir ürünün ekonomik kullanım süresi veya ömrü kalite düzeyini belirleyen faktörler arasında yer almaktadır. Gerçek hayatta kesinlik söz konusu olmadığından, ürünün ömrünü belirleyen süre içinde arıza yapmadan çalışma olasılığını göz önüne almak gerekecektir. Güvenilirliğe kalitatif ve kantitatif olmak üzere iki açıdan bakılabilir. Kalitatif açıdan güvenilirlik, hizmet sırasında karşılaştırılabilir ölçülerle işlevsel hatalardan bağımsızlıktır. Kantitatif açıdan güvenilirliğin genel kabul görmüş bir tanımını şu şekilde ifade etmek mümkündür(Zacks, 1992, Bakkurt 2004)

Güvenilirlik; bir ürünün kendisinden beklenen fonksiyonu önceden saptanmış bir süre içinde, belirli çevre ve çalışma koşulları altında arıza yapmadan yerine getirme olasılığıdır. (Akın,1998) Bu tanımdan da anlaşıldığı üzere güvenilirliğin elementleri:

- Tatmin edici performans
- Zaman ve belirli çalışma koşullarıdır.

Güvenilirliğin temelinde risk yatar. Bir üründeki algılanan risk kaynakları Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Algılanan Risk Kaynakları(NLRC,2000)

Güvenilirlik tanımından çıkarılacak sonuçlar şu şekildedir ;

- Kesin bir hata oluşma şansının olduğunun kabul edilmesi ve güvenilirliğin olasılıkla ilgili bir kavram olduğunun kabulü,
- Sistemin tasarımcısı, kullanıcısı veya sistem analisti tarafından tanımlanmış uygun sistem performansı kavramının kabulü,
- Çevresel koşulların uygun olması.

Bu durumda, güvenilirlik kavramı, bir tüp veya elektrik ampulü gibi tek bir parçaya, uçak, bilgisayar gibi karmaşık bir sisteme, bir bilgisayar programına, elektronik devreler, arabalar gibi performansları sayısal olarak değerlendiren mekanik sistemler için ele alınabileceği gibi, eğitim sistemi, sağlık sistemi, bilgi sistemi, banka, finans, sigorta şirketleri, otel, turizm, gıda firmalarına, performansları etkinlik birimleriyle değerlendiren hizmet işletmelerine de uygulanabilmektedir.

Güvenilirlik analizi, bir sistemin operasyonu boyunca istenmeyen ve beklenmeyen olayların oluşmalarıyla ve bu olayların sistemin davranışına etkileriyle ilgilidir. İstenmeyen olaylar, çevresel koşullar nedeniyle veya zaman ve kullanıma bağlı olarak parçaların yıpranması veya bozulması, hatta tasarım problemleri ile sistem kullanımı sırasında karşılaşılan yetersizlik nedeniyle meydana gelen parça

başarısızlıkları olabilir. Bu nedenle, güvenilirlik büyük bir ölçü sisteminin tasarım, üretim ve operasyon safhasında önemli bir kavram halini almaktadır(Bakkurt, 2004)

Güvenilirlik bölümünün sorumlulukları şu şekildedir(Dhillon ve Reiche 1985, Bakkurt 2004);

- Güvenilirliğin değerlendirilmesi ve yerinin tayin edilmesi
- Tasarım ayrıntıları ve teklifleri için girdi sağlamak ve güvenilirliği planlamak
- Güvenilirlik personelinin eğitimi
- Güvenilirliğin araştırılması ve geliştirilmesi
- Tasarım ve ayrıntıların güvenilirliğe göre yeniden gözden geçirilmesi
- Taşeronlar varsa onların güvenilirlik aktivitelerini izlemek.
- Güvenilirlik faaliyetleri hesaplarının kontrol edilmesi
- Başarısızlık verilerini toplamak ve analiz etmek
- Güvenilirliği geliştirme ve güvenilirlik gelişimini izlemek
- Danışmanlık görevini yapmak

2.2. Güvenilirliğin Önemi

Son yıllarda güvenilirlik büyük bir önem kazanmaya başlamıştır. Büyük silah sistemlerinin geliştirilmesinde güvenilirlik ilk önemli konu haline gelmiştir. Bu önem, elektrik elektronik ve mekaniksel ekipmanlarda, endüstri alanında süreçlerin kontrolünde, iletişim alanında, deniz bilimi çalışmalarında ve diğer birçok sivil alanda hızla artmıştır(Dummer ve Winson 1990, Bakkurt 2004)

Sanayi alanında güvenilirlik bilincine ulaşılmış ve ‘güvenilirlik herkesin işidir’ düşüncesi benimsenmiştir. Güvenilirlik konferanslarının düzenlendiği, güvenilirlik departmanlarının oluşturulduğu, güvenilirlik programlarının yazıldığı, kontratlarda ve şartlarda güvenilirlik ihtiyaçlarının yer aldığı görülmektedir.

Ekipmanların kullanıldığı bütün durumlarda güvenilir bir şekilde çalışması şarttır. Örneğin, hava taşımacılığında, askeri ve atom enerjisi alanlarında başarısızlık tehlikeli bir durum yaşatır. Günümüzde, ilerleyen teknoloji sonucu büyük sayılarda farklı üniversitelerin yer aldığı karmaşık sistemler kullanılmaya başlamıştır. Bu sistemlerde fazla sayıda parça kullanılır ve her tek parça başarısızlık kaynağı olabilir. Bu nedenle de güvenilirlik her parçanın güvenilirliği azaldığı sürece azalacaktır.

Hemen hemen boşa harcanan parayla aynı anlama gelen harcanan zaman, güvenilirsizliğin bir sonucudur. Örneğin, büyük bilgisayar sistemlerinde meydana gelen başarısızlıkların araştırılması ve onarılması mekanik veya elektronik başarısızlıklar sebebiyle bir uçağın kalkışında meydana gelen gecikme sonucu yolcuların konaklama ve yemek maliyetleri, harcanan zaman, müşterilerin memnuniyetsizliği sonucu meydana gelen maliyetlerdir.

Güvenilirsizliğin maliyet etkilerinin yanı sıra psikolojik etkileri de vardır. Güvenilir olmayan bir ürün veya firma başarısız olacaktır. Erken meydana gelen başarısızlıklar üretici firmanın prestij kaybına neden olacaktır. Örneğin sürekli olarak bakımını yapma garantisiyle araba veya televizyon üreten bir firma, müşterinin daha sonraki alışverişlerini kendisinden yapma ortamını hazırlamış olacaktır ya da hastalarının hizmet sunumu sırasında memnun olarak ayrılan bir hastane uzun dönemli bir başarıyı sağlayacaktır.

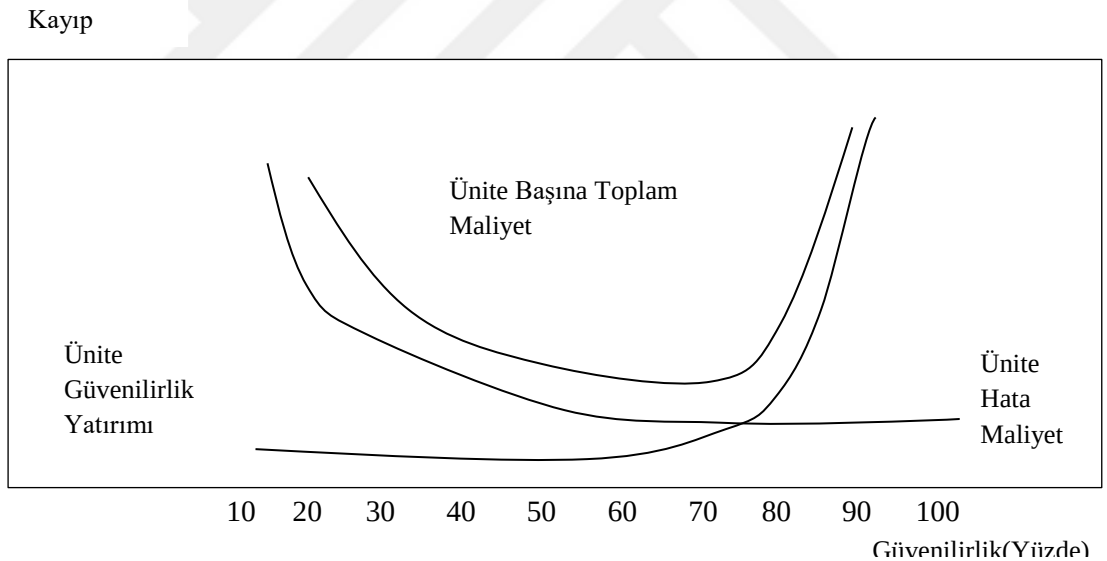
Sonuç olarak, güvenilirlik bir ürünün veya hizmetin güvenilirliğinde en önemli faktörlerden birisidir. Ancak bu tek faktör değildir. Bir hizmet veya ürün ‘’kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirebilir’’ fakat yine de güvenilir olmayabilir. Mekaniksel veya elektroniksel bir bozulma sonucu değil de insan hataları nedeniyle meydana gelmiş önemli felaketler vardır. Bu tip insan hataları, çalıştırıcıların başarısızlığına, bakım personeline ve yönetime bağlı olabilir.

Bozulmalar ve felaketler, çalışma süreçlerini ve düzenlemelerini izlemek, kaza veya çalıştırıcıların başarısızlıkları nedeniyle artabilir. Kaza sonucu oluşan başarısızlıkların sonuçlarına, çalışma başarısızlıklarının hangi kaza sonucu yapılabildiğine ve hangilerinin garantiye girebildiğini tahmin ederek, tasarım aşaması boyunca, bir dereceye kadar izin verebilir. Bununla birlikte çalışma süreçlerini izlemek için önceden düşünülen başarısızlıkları tahmin etmek olanaksızdır. Çalıştırıcılara ve bakım personeline, onların yetişme süreleri boyunca belirlenmiş olan süreçlerden ve düzeltmelerden asla ayrılmamaları gerektiğinin önemli olduğunun benimsetilmesi temeldir. (Bakkurt, 2004)

2.3. Tasarımda Güvenilirlik

‘’Bakıma uygunluk’’ ve ‘’hizmete uygunluk’’ güvenilirlik tasarımında önemli faktörlerdir. Bakım ve hizmet, güvenilirlik ile daha da kolaylaşır. Bakım ne kadar çabuk ve kolay olursa, firmanın verimi aynı oranda artar. (Hansen, 1966)

Şekil 2.2. de güvenilirliğin daha az maliyet için değiş-tokuş edildiği genel bir model görülmektedir. Şekilde toplam maliyet kriter olarak ele alınmalıdır. Burada belirli bir maliyeti belirlemek çok zordur. Örneğin personelin yaratacağı zararın maliyetinin ne kadar olacağı bilinmemektedir. Az harcama yapılması durumunda güvenilirlik yeteri derecede sağlanmayabilir. Daha az bedelin ödenmesi kararını vermek için, bir olasılık noktası olmalıdır. Eğer eşit güvenilirlik yatırımı için güvenlik kazancı elde etmek mümkün olsaydı, tartışma için pek neden olmazdı. Fakat güvenilirlik yatırımı, yatırımdan elde edilen kazançla üstel olarak orantılıdır, yani güvenilirliği elde etmek giderek pahalı hale gelir(Catuneanu ve Mihalache 1989, Bakkurt 2004)



Şekil 2.2. Toplam Maliyetlere Göre Güvenilirlik (Catuneanu ve Mihalache 1989)

2.4. Bakım ve Güvenilirlik

Bir varlığın belirlenen kullanım koşulları altında daha önceden tanımlanmış prosedürler ve kaynaklar kullanılarak bakımı yapıldığında, kendinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilecek durumda tutabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Ekipmanın tasarımı yeterli ve ekipman belirlenen sınırlamalar

dahilinde çalışıyor olsa bile, güvenilirlik hala güçlü bir şekilde bakım standartlarına bağlı olacaktır(Cox ve Tait, 1991).

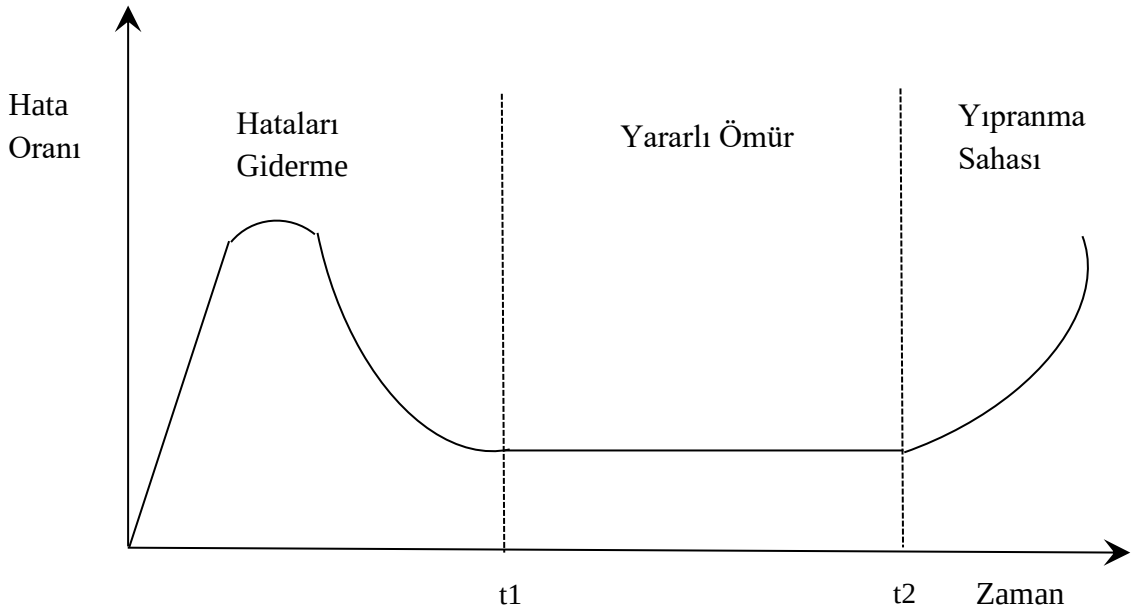
Sistemin toplam güvenilirliği; tasarım, bakım ve işlem sahasının bir fonksiyonudur. Denklem (2.1) olarak şu şekilde ifade edilmektedir:

$$Ps=f(D,M,F_0) \quad (2.1)$$

Kullanılan sistemde güvenilirliği elde etmede, bakım önemli bir yer tutmaktadır. Bakıma uygunluk, parçanın ne kadar kolaylıkla çalışmasına devam edeceği anlamına gelmektedir. Bakıma uygunluğu yüksek olan bir parça, çalışmasına devam etmesi kolay olan bir parçadır. Aksi durumda, bakım işlemi çok iyi yapılmayacak ve gereğinden fazla zaman alacaktır. Ayrıca, tasarım da bakımı kolaylaştıracak şekilde yapılmalıdır. Ek olarak, çevre koşullar ve çalıştırma personeli de bakıma uygunlukta önemli bir etkiye sahip olacaktır. Sonuç olarak, bakım kullanım alanında veya yakınında yapılan üretim türü bir çalışmadır(Badoux, Kema 1985, Bakkurt 2004)

2.5. Ürün Ömür Eğrisi

Ürünün ilk kullanımından, eskimesine kadar olan süre üç farklı dönem olarak ele alınabilir. Şekil 2.3.'de hata oranının zamanla nasıl değiştiği ürün ömür eğrisi grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ürün Ömür Eğrisi (Akın, 1998)

Çoğunlukla bu grafiğe küvet ergisi de denilmektedir. Grafik incelendiğinde ürün ömrü üç ayrı bölüm halinde ele alınmıştır. Birinci safha olan hataları giderme safhasında, ürünün belirgin olan birincil problemleri belirlenmiş ve prototip testleri uygulanmak suretiyle sorunlar giderilerek hata oranı düşürülmüştür. İkinci safha olan yararlı ömür safhasında tesadüfi hatalar meydana gelir. Bu safhada hata oranı sabittir. Sonuncu safhada ise hata oranında hissedilir bir artış olmakta ve ürün ekonomik ömrünü tamamlamaktadır(Akın, 1998).

2.6. Güvenilirlik Yönetimi

1990 '11 yıllarda hükümet, üretici ve tüketici sektörlerinde güvenilirlik mühendisliği algılanışında büyük değişiklik oluşmuştur. Örneğin , 1960 lar ve 1970 lerde güvenilirlik mühendisliği fonksiyonu matris organizasyonun sağduyulu bir birimiydi; bugünkü . ortamda mühendislik tasarım ekibinin önemli bir bileşenidir.

Yıllar geçtikçe mühendislik projeleri daha karmaşık ve gelişmiş oldukça, güvenilirlik prensipleri bir yönetim görevini de üzerine almıştır. (Dhillon, 1999)

2.6.1. Güvenilirlik programıyla ilgili sorumluluklar

Etkin bir güvenilirlik programına sahip olmak için, yönetimin sorumluluğunda çeşitli faktörler bulunmaktadır. (Dhillon, 1999)

- Şirket operasyonları ve ürettiği ürünün mevcut performansının Güvenilirliğine uygun olarak bir giriş programı oluşturmak.
- Belirli güvenilirlik hedefleri ve amaçları oluşturmak
- Güvenilirlik amaçlarının hazırlanmasını sağlayacak ve mevcut eksiklikleri giderecek etkin bir program oluşturmak. Tamamen etkin bir program kurulum maliyetlerini fazlasıyla geriye ödeyecektir.
- Programla ilgili olan otoritenin, fonların, işgücünün, zaman çizelgesinin sağlanması.
- Düzenli bir temelde programı gözden geçirmek ve politikaları, prosedürleri, organizasyonu vb. en arzulanan seviyede değiştirmek

Aşağıdaki gibi gerçekler etkin bir güvenilirlik programına sahip olmak için genel yönetime yol gösteren bir güç olacaktır. (Dhillon, 1999)

- Güvenilirlik yönetimde, planlamada ve mühendislik ürününün tasarımında önemli bir faktördür
- Mühendislik ürünü alanındaki bakımda, üretimde, depolama ve yüklemede, test ve kullanımdaki değişikler tasarımın güvenilirliğini azaltmaya eğilimlidir.
- Planlanmış programlar tasarımda, üretimde, testte ve mühendislik ürününün sahadaki kullanımında güvenilirliğin kontrol edilmesi için gereklidirler.
- En ekonomik olarak güvenilirliğin yüksek seviyelerinin elde edilebildiği zaman tasarım ve değerlendirme test programlarının ilk aşamalarıdır.
- Güvenilirlikteki gelişmeler sadece tasarım değişiklikleri aracılığıyla olabilir.
- İnsan hatası tasarımın güvenilirliğini azaltır.
- Doğru zamanlamayla olgun bir mühendislik ürününde istenen güvenilirliğin sağlanmasında yetersiz veri toplanması , analiz ve geri-besleme önemlidir.

2.6.2. Güvenilirlik programları için askeri şartname

Güvenilirlik programlarının geliştirilmesi için, askeri şartname, MIL-R-27542, aşağıdaki rehberi içermektedir.

- Sistem için amaçlarla birleştirilmiş güvenirlik tahsis edin.
- Doğal ekipman güvenirliliğini maksimum düzeyde sağlamak için tasarım sürecinde mümkün olduğunca fazla gayret sarf edin.
- Güvenirlilik sınırlarını değerlendirin.
- Şartname gözden geçirmesini gerçekleştirin.
- Tasarım ve prosedür gözden geçirmelerini gerçekleştirin.
- Uygun bir test programı oluşturun.
- Güvenirliliğe bağlı kalarak şartname ve çizimlerdeki değişiklikleri gözden geçirmeyi yürütün.
- Üretim sırasındaki kontrolü muayene, numune test etme ve etkin üretim kontrol aracılığıyla oluşturun ve devamını sağlayın.
- Mühendislik uzmanlarının hatanın yeniden oluşmasını durduracak düzeltici ölçütleri elde etmelerini sağlayacak hata raporlama, analiz, geribildirim için kapalı çevrimli bir sistemi geliştirin.
- Tek bir gruba güvenilirlik için sorumluluk atayın.

- Güvenilirlik grubunun uygun bir üstte rapor verdiğinden emin olun ki güvenilirlik çalışması etkin bir şekilde yapılabilsin.
- İş üzerinde eğitim olanağı ve programı geliştirin.
- Daha önceden oluşturulmuş gerekliliklerden çalışıldığında, güvenilirlik amaçlarını oluşturmak şarttır ve güvenilirlik amaçlarım oluşturma temelde tüm gereklilikleri bir alt amaçlar serisine indirgemeden oluşmaktadır. Güvenilirlik amaçlarını oluşturmak için genel bir prosedür aşağıdaki gibidir.
- Gereklilikleri açıklayın.
- Organizasyonel hedefi ve ana amacı takip etmek için birimin hedefleri/ amaçları/ misyonlarını geliştirmeden daha öncelikli olan organizasyonel birimin misyonunu gözden geçirin
- İstenilen önemli sonuç alanlarına dikkat çekin.
- Maliyeti muhtemelen en yüksek olan alanları belirleyin.
- En çok beklenti olan sonuç alanlarını izlemek için seçin.
- Amaç adaylarını seçin.
- Her aday amacı başarıyla sağlamak için takip etmenin gerektirdiği kaynakları yeniden gözden geçirin.
- Önerilen çözümleri ve amaca ulaşmada herhangi bir problemli alana dikkat çekin.
- Amaçların birbirine bağlılıklarını inceleyin ve maksimum koordinasyon için aday amaçlar arasında ayarlamalar yapın.
- Elde edilebilirlik, uyuşabilirlik, ilgililik, kabul edilebilirlik, ölçülebilirlik, ve desteklenebilirlik gibi faktörler açısından amaçları yeniden gözden geçirin.
- Başarılı sonuçlara ulaşmak için kilometre taşları geliştirin ve amaçların son seçimini yapın. Ölçme başarısı için parametreler geliştirin.
- Motivasyonel inisiyatifler / denetimler için gereken hazırlıkları düşünerek amaç başarısı için Aksiyon planları oluşturun.
- Tüm taraflarla amaçların iletişiminde yazılı biçimleri kullanın ve ilerlemeleri düzenli olarak gözden geçirin.
- Uygun olduğunda ayarlamalar yapın.

2.6.3. Ürün yaşam döngüsünde güvenilirlik ve sürdürülebilirlik

Sahada bir mühendislik sisteminin istenilen güvenilirliğini elde edebilmek için, yönetim görevleri güvenilirlik ve sürdürülebilirlik göz önüne alınarak ürün yaşam döngüsünün başından sonuna kadar koordine edilmelidir. Ürün yaşam döngüsü dört ana ayrı faza ayrılabilir:

1. Kavram ve tanımlama fazı,
2. Kazanım fazı,
3. Operasyon ve bakım fazı,
4. Elden çıkarma fazı.

Güvenilirlik ve sürdürülebilirlik yönetimi tüm dört faz ile de ilgilidir. Bu fazların her biri için görevler aşağıda tanımlanmıştır. (Dhillon, 1999)

2.6.3.1. Kavram ve tanımlama fazı

Bu fazda sistem ihtiyaçları oluşturulur ve temel karakteristikler tanımlanır. Bu fazda güvenilirlik ve sürdürülebilirlik ile ilgili olan yönetiminin çeşitli görevlerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Tüm kullanılan terimlerin, sistem yeteneklerinin gereklerinin, yönetim kontrollerinin ve parça gerekliliklerinin tanımlanması,
- Hatalarının tanımlanması.
- Nicel terimlerle sistem için güvenilirlik ve sürdürülebilirlik amaçlarının tanımlanması.
- Güvenilirlik ve sürdürülebilirlik ihtiyaçlarını tamamlamada kullanılacak yazılım ve donanım standart dokümanlarının tanımlanması.
- Tasarım ve üretim fazında takip edilecek metotları tanımlama.
- Güvenilirliğe zararlı olduğu kanıtlanmış kısıtlamaların tanımlanması.
- Temel sürdürülebilirlik felsefesi ve sistem güvenilirlik ihtiyaçlarının tanımlanması,
- Sistem yaşam döngüsü süresince veri toplama ve analiz ihtiyaçları tanımlanması,
- Dokümantasyon için yönetim kontrolünün tanımlanması ve gerekli dokümantasyonun sağlanması,
- Yaşam döngüsü süresince sistemin çevresi ile ilgili olan faktörlerin tanımlanması.

2.6.3.2. Kazanım fazı

Bu sistem yaşam döngüsünün ikinci fazıdır ve sistem kazanımı ile tesisi kadar sistemin son destek aktivitelerinin planlaması gibi aktivitelerle de ilgilidir. Bu fazdaki yönetimin görevlerinin güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik ile ilgili olanları aşağıda verilmiştir.

- Sistemin teknik ihtiyaçlarının, kullanılacak olan önemli tasarım ve geliştirme metotlarının, son sistemin parçası olarak istenen dokümanların, sistemi değerlendirmek için değerlendirme metotları tiplerinin ve kullanım gösterisi gerekliliklerini tanımlama.
- Güvenilirlik ve tamamlanması gereken Sürdürülebilirlik ihtiyaçlarını tanımla.
- Bir eksiklik veya hatanın anlamını tanımla.
- Yönetilecek gözden geçirmelerin tiplerini tanımla.
- Üreticiden tüketiciye sağlanacak verinin tipini tanımla.
- Geliştirilecek yaşam döngüsü maliyet bilgisini tanımla.
- Eğer varsa çalışılması gerekli olan alanları tanımla.
- Gerekli olan lojistik destek çeşidini tanımla.

2.6.3.3. Operasyon ve bakım fazı

Sistem yaşam döngüsünün üçüncü safhası olan bu faz bakım, mühendislik yönetimi ve işlemsel yaşam periyodu süresince sistemin desteklenmesi ile ilgili görevlerle ilgilidir. Operasyon ve bakım fazı süresince güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik ile ilgili olan yönetimin görevlerinin bir kısmı aşağıda verilmiştir.

- Hata veri bankaları geliştirmek.
- Güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik verilerini analiz etme.
- Bakım için uygun araçların sağlanması.
- Uygun eğitilmiş işgücünün sağlanması.
- Yedek parçaların tahmini ve yönetimi.
- Mühendislik değişim önerileri geliştirme.
- Bakım dokümanları hazırlama.
- Herhangi bir mühendislik değişimi açısından dokümanlarını gözden geçirme.

2.6.3.4. Elden çıkarma fazı

Sistem yaşam döngüsünün son fazıdır ve sistemi, önemli olmayan destek parçalarını çıkarma ile ilgili aktivitelerle ilişkilidir. Bu fazda güvenilirlik ve sürdürülebilirlik ile ilgili iki tane olan yönetim görevleri; son yaşam döngüsü maliyeti ve sistemin sorgulanmasında son güvenilirlik ve sürdürülebilirlik değerleridir. Yaşam döngüsü maliyeti elden çıkarma maliyeti veya gelirini içerir. Son güvenilirlik ve sürdürülebilirlik değerleri kullanılan sistemi satın alan ve benzer sistemlerin satın alınmasında kullanmak için hesaplanır.

2.6.4. Güvenilirliğin denetimi ve programındaki güçlükler

Denetimler güvenilirliliğinin zayıf, kuvvetli ve kabul edilebilir alanlarını belirlemek için önemlidir. Güvenilirlik denetimlerini yürütmek için çeşitli prensipler vardır. Denetim çizelgesini devam ettirme, denetim sonuçlarını kaydetme, öncelikli duyurular olmaksızın denetimleri yürütmek, kontrol listelerini kullanarak denetimin gerçekleştirilmesi, denetim için tarafsız kişilerin seçilmesi, takip edilecek eylemleri yazın ve denetim amaçlı sürekli bir kişiyi atamaktan kaçınılmalıdır.

Güvenilirlik denetimi birçok avantaja sahiptir. Örneğin; problemli alanların düzenlenmesi, müşteri ihtiyaçlarının karşılanmasını belirleme, müşteri şikayetlerinin azaltılmasında yardımcı olma, alıcının güvenilirliliğe olan tepkisini tahmin etmede ve şirket güvenilirlik hedeflerinin karşılanıp karşılanmadığını bulmada yardımcı olur.

Güvenilirlik program yönetimindeki güçlükler pek çok güvenilirlik programı belirsizliği ve problemlerinin sebepleridirler. Bu güçlükler aşağıda verilmiştir.

- Güvenilirlik organizasyonu
- Güvenilirlik testi
- Programlama
- Üretim

Güvenilirlik organizasyonundaki güçlüklere iki önemli örnek; birkaç organizasyonlu sıraya sahip olma ve dahili diyalog ve koordinasyon olmaksızın katkılarda bulunan yetkili şahıslara sahip olma olarak verilebilir.

Güvenilirlik testi güçlüklerine önemli bir örnek olarak da güvenilirlik tanıtım testinin başlamasının gecikmesi verilebilir. Bu tür bir gecikme güvenilirlikle ilgili değişikliklerin birleşimi problemini müşteriye gönderilmeye hazır ürüne ekleyebilir.

Programlama güçlükleri de önemlidir ve çok dikkat edilmelidir. Program ihtiyaçları ile ilgili olan güçlüklerden bir tanesi de program ile ilgili kişilerin program gerekliliklerini anladığı varsayımıdır.

Üretim fazı esnasında da ortaya çıkan güçlükler mevcuttur. Örnek olarak; Sistemin üretim terminine uygun olmayan parçaların tedarik temin süresi söz konusu olduğunda parçaların alıcıları hatta tasarım mühendisleri (belirsiz koşullar altında) muadil parçaların güvenilirlik üzerindeki etkilerine dikkat etmeden izin verebileceklerdir. Bu tür güçlükler ancak etkin bir güvenilirlik yönetim takımı tarafından önlenebilir. (Dhillon, 1999)

2.6.5. Güvenilirlik mühendisliği sorumlulukları

Güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik programlarındaki muhtemelen en önemli faktör üst yönetimin programa olan davranış şekli ve felsefesidir. Yani üst yönetimin desteği olmaksızın bu program etkin olmayacaktır. Yönetimin olumlu ve yükseltici davranışı elde edildikten sonra uygun güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik organizasyonu kurulacaktır. İki ayrı departman, güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik, sorgudaki şirketin ihtiyacının zorlamasıyla kabul ettirilecektir. Bazen bu iki fonksiyon bir tek departmanın veya kalite güvence departmanın sorumluluğu altına verilebilir. Çünkü güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik departmanlarının yapısının nasıl olması gerektiği ile ilgili katı kurallar yoktur. Ancak bu programlara yeterince önem verilebilmesi için program yöneticilerinin gerekli yetkilere sahip, organizasyonsal hiyerarşide yeterince yüksek düzeyde yer alan kişiler olması gerekmektedir. (Dhillon, 1999)

2.6.5.1. Güvenilirlik mühendisliği birimi sorumlulukları

Bir güvenilirlik mühendisliği departmanın pek çok sorumlukları olabilmekle beraber en önemli sorumluluklarından bazıları aşağıda verilmiştir: (Dhillon, 1999)

- Güvenilirlik politikası, planları ve prosedürleri oluşturmak.
- Güvenilirlik ödeneği.
- Güvenilirlik tahmini.

- Güvenilirliği önemseyerek şartname ve tasarım yeniden gözden geçirmeleri,
- Güvenilirlik büyümesini izlemek,
- Eğer varsa taşeronların güvenilirlik faaliyetlerini izlemek,
- Hata veri toplaması ve raporlaması,
- Hata veri analizi,
- Danışmak.

2.6.5.2. Sürdürülebilirlik mühendisliği birimi sorumlulukları

Benzer şekilde Sürdürülebilirlik departmanın da pek çok sorumluluğu vardır ve bazıları aşağıda verilmiştir. (Dhillon, 1999)

- Sürdürülebilirlik politikaları ve prosedürleri oluşturmak,
- Sürdürülebilirlik iş gücünü eğitmek ve kadrolaştırmak,
- Sürdürülebilirlik için geliştirme planları geliştirmek ve Sürdürülebilirlik tanıtımları yapmak.
- Hata verilerini toplamak ve analiz etmek,
- Tasarım ve şartname gözden geçirmelerinde yer almak.
- Sürdürülebilirlik değerlendirmeleri.
- Sürdürülebilirlik ödeneği.
- Sürdürülebilirlik uzlaşma çalışmalarını sürdürmek.
- Taşeronların Sürdürülebilirlik faaliyetlerini izlemek,
- Diğerlerine danışmanlık hizmetleri sağlamak,
- Sürdürülebilirlikle ilgili bilginin dokümantasyonu

2.6.6. Güvenilirlik personeli

Güvenilirlik grubu güvenilirlik mühendisliğinin çeşitli dallarında uzmanlaşmış kişilerden oluşmaktadır. Ancak bazı uzmanlara göre güvenilirlik çalışmasındaki kişilerin aşağıdaki konularda tecrübeleri olması gerekmektedir. Bunlar: kalite kontrol, olasılık teorisi, proje yönetimi, sistem mühendisliği, yöneylem araştırması, çevre testi, bileşenlerin tasarımı, üretim metotları, veri analizi ve toplanması, şartnamelerin geliştirilmesi ve test planlaması, fizik mühendisliği, makina mühendisliği, istatistik, metalürji ve elektronik mühendisliğidir. Güvenilirlik personeli ile ilgili bazı alanlar aşağıda açıklanmıştır. (Dhillon, 1999)

Bir güvenilirlik mühendisinin görevleri şu şekilde tanımlanabilir. Planlama, tasarım ve geliştirme, üretim ve bir sistemin geliştirme aşamalarında güvenilirlik mühendisinin çok fazla sayıda görevi vardır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- Amaçlanan bir tasarımın analizini gerçekleştirmek,
- Planlama aşamasında etkin bir güvenilirlik programı için kaynakları korumak.
- Müşteri şikâyetlerini güvenilirlikle birlikte analiz etmek,
- Alan hataların incelemek,
- Sistemde alt sistemlerde ve parçalarda testler yapmak,
- Bir sisteme devam ettirmede karşılaşılan sorunları incelemek,
- Sistem, altsistem ve bileşenlerde testler geliştirmek.
- Bileşen düzeyine kadar sistem hata toleranslarını bütçelemek,
- Bir güvenilirlik program planı geliştirmek,
- Parçaların kayıtlarım tutmak,
- Alternatif tasarımların güvenilirliğini belirlemek,
- Sistem yaşamı ve bakımını kolaylaştırmak için tasarımcılara bilgi sağlamak,
- Yönetime güvenilirlikle ilgili uygun bilgiyi sağlamak,
- Uygun bilginin tüm ilgililere uygun biçimde aktığını garanti etmek,
- Güvenilirlik görevlerinin son sonuçlarının sistemli ve etkin biçimde düzenlendiğini garanti etmek,
- Taşeronların güvenilirlik performanslarını izlemek,
- Yeni sistemler için ihtiyaçların geliştirilmesine katılmak,
- Teklifler için değerlendirme isteklerine katılmak,
- Yeni sözleşmelerde güvenilirliğe yeterince önem verildiğine garanti vermek,
- Güvenilirlik tahmin modelleri ve teknikleri geliştirmek,
- Tasarımın gözden geçirilmesi içerisine katılmak

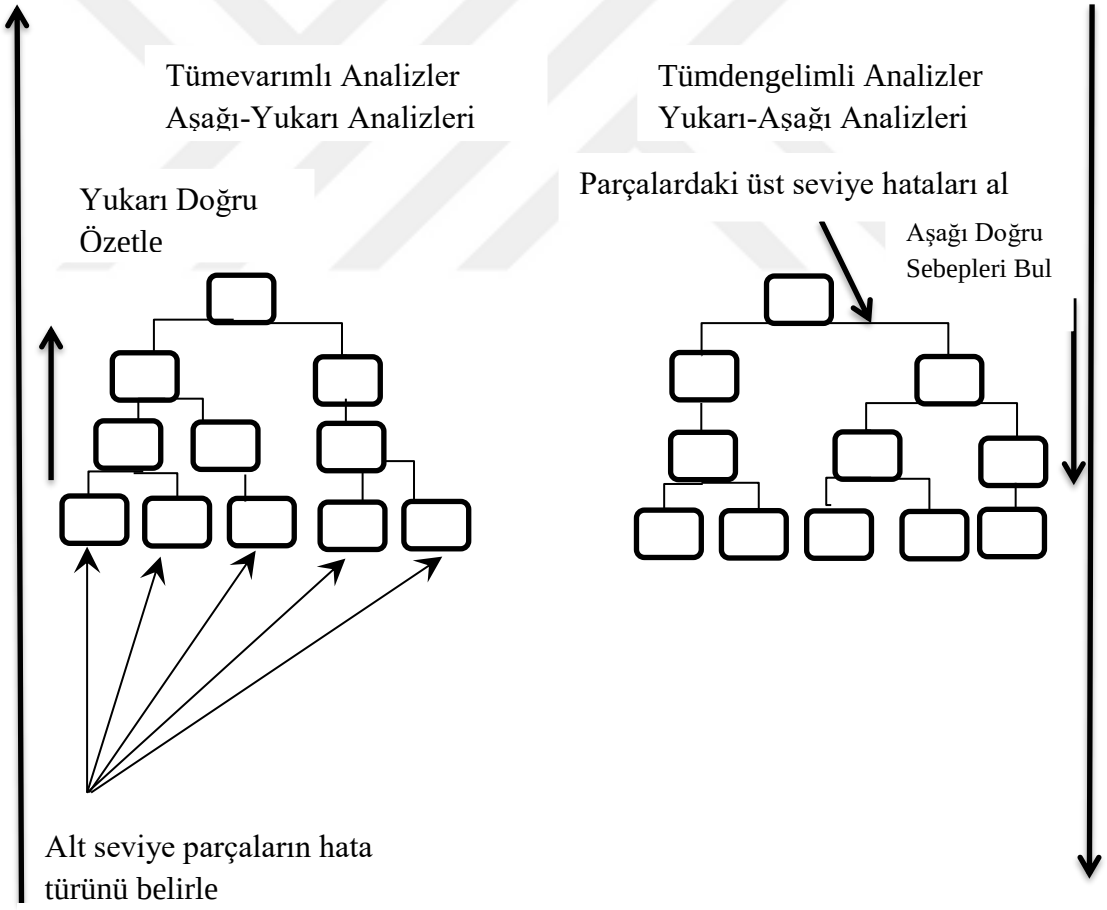
2.7. Güvenilirlik Analizleri

Güvenilirlik analizi, ürün ve proses tasarımı aşamasında uygulanan bir analizdir. Bir ürününün ekonomik kullanılma süresi veya ömrü kalite düzeyini belirleyen faktörler arasında yer alır. Genellikle ürünün ömrünü belirleyen süre ile beraber, bu süre içinde arıza yapmadan çalışma olasılığını dikkate almak gerekir. (Akın, 1998)

Güvenilirlik analizleri temelde iki gruba ayrılır. Birinci grup tümevarımlı analizler, ikinci grup tüm dengelimli analizler. Tümevarımlı analizlerde öncelikle alt seviye parçalardaki hata türleri belirlenir ve üst gruplara doğru hatalar özetlenir. Tümdengelimli analizlerde ise en üst seviyedeki parçanın hataları belirlenerek aşağı doğru sebepler belirlenir. Bu durum Şekil 2.4.'de anlatılmıştır. (NLRC,2000). Endüstride kullanılan bazı güvenilirlik analiz metotları şunlardır: (Anderson, 2001)

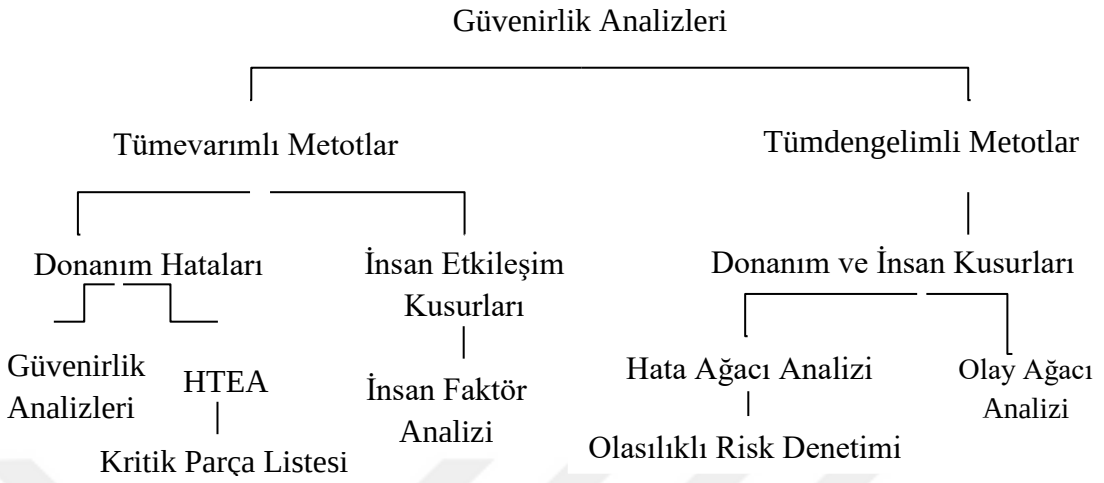
2.7.1. Hata ağacı analizi

Hata ağacı analizi bir mantıksal diyagramı kullanarak potansiyel sistem hataları ile beklenen tehlikeleri birleştiren grafiksel bir akış şemasıdır. İlk olarak elektriksel sistemlerin tasarımında kullanılmıştır. Hata olasılıkları verilerek, potansiyel tehlike olasılıkları belirlenir. Hata ağacı analizi HTEA' nin grafiksel gösterimidir.



Şekil 2.4. Güvenirlik Analizi Tipleri(NLRC,2000)

Bu analizlerin neler olduğu ve hangi teknikler kullanıldığı Şekil 2.5.' de anlatılmaktadır.



Şekil 2.5. Güvenilirlik Analizi Uygulamaları(NLRC,2000)

Hata ağacı analizi tasarımdaki potansiyel tehlikelerin belirlenmesi ile başlar. Tehlikeler belirlenirken hem insana hem de ürüne zarar verecek hatalar belirlenmelidir. Her potansiyel tehlike mantıksal diyagramda bir blok olarak çıktı gözükür. Sonra her tehlikeyi üretecek hatalar kombinasyonu araştırılır. Hataların oluşma olasılıkları belirlenerek azaltılmaya çalışılır. (Anderson, 2001)

2.7.2. Tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları (HACCP)

Tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları 1960 yılında Pillsbury şirketi tarafından Amerikan uzay programı için üretilen yiyeceklerde kalite kontrolü sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. 1973 yılında Amerikan Gıda ve İlaç Birliği tarafından kabul edilmiş ve bundan sonrada gıda üreten işletmelerde ve tıbbi cihaz üreticilerinde zorunlu hale getirilmiştir. HACCP' in yedi prensibi vardır: (Anderson, 2001)

1. Tehlike analizi yap. Belirgin tehlikelerin olduğu ve bu tehlikelerin önleyici ölçütlerinin bulunduğu üretim prosesinin adımlarını hazırla.
2. Kritik kontrol noktalarını belirle. Kritik Kontrol Noktası tehlikeleri önleyen, elemine eden ya da kabul edilebilir seviyeye indiren aşamadır .
3. Her kritik kontrol noktası için kritik limitleri oluştur.
4. Kritik kontrol noktalarını izlemek için prosedürler oluştur.
5. Kritik limitlerden sapmalar oluştuğunda düzeltmeler için düzeltici faaliyetleri oluştur.

6. HACCP sisteminin doğru çalıştığını garanti etmek için doğrulama prosedürleri oluştur.
7. HACCP sistemini dokümante etmek için kayıt tutma prosedürlerini oluştur.

2.7.3. Kök sebep analizi

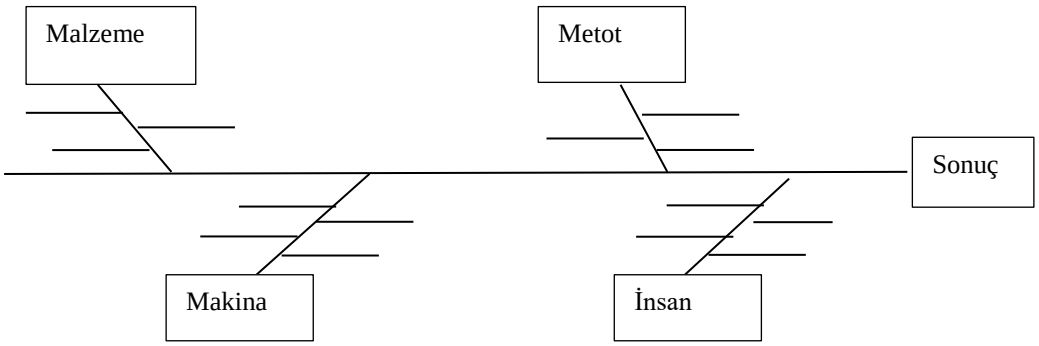
Kök sebep analizi Ford tarafından kendi iş proseslerindeki problemlerle başa çıkmak için geliştirilmiştir. Ford bu yönteme 8D metodu demekte ve aşağıdaki 8 adımı tanımlamaktadır: (Anderson, 2001)

1. Bir takım oluştur.
2. Problemi tanımla.
3. Mevcut acil durumla baş et.
4. Problemin kök sebeplerini bul.
5. Potansiyel düzeltici faaliyetleri test et ve en iyi aksiyon planını tasarla.
6. Aksiyon planını uygula.
7. Problemin tekrarını önle.
8. İyi yapılmış iş için takımı tebrik et.

Açıkça görüldüğü gibi metodun odağında problemlerin kök sebeplerini bulmak yatmaktadır. Bu işi yapabilmek için genellikle kontrol listeleri kullanılır.

2.7.4. Sebep Sonuç Diyagramı

Balık kılçığı ya da Ishikawa diyagramı olarak da bilinen sebep sonuç diyagramı, potansiyel sebeplerle bunların etkilerini direk olarak ilişkilendiren görsel bir yöntemdir. Şekil 2.6'da Sebep-sonuç analizi örneği gösterilmektedir.(Anderson, 2001)



Şekil 2.6. Sebep-Sonuç Diyagramı (Anderson,2001)

2.7.5. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA)

Hata Türü ve Etkileri Analizi güvenilirlik analizleri içinde önemli bir yer tutar. Bu çalışmanın ileriki bölümlerinde detaylı bir şekilde anlatılan HTEA hataların oluşmadan önlenmesi için önemli bir tekniktir.

3. HTEA KAVRAMI

3.1. HTEA Tanımı

1980 yılında yayınlanmış MIL-STD 1629A' da HTEA, sistem içindeki bütün olası hata türlerinin, sistem üzerindeki sonuçları ya da etkilerini saptamak ve önem düzeylerine göre hata türlerini gruplandırmak için analiz edildiği bir süreçtir, şeklinde ifade edilmektedir.

Toplam kalite yönetiminde kalite yöneticileri "ilk defada doğruyu yapma" veya en azından son üretimde daha iyiyi sağlama amacını gerçekleştirirken sorumlu kişilerin bilgi, deneyim ve önsezilerinden yararlanırlar. HTEA bu deneyim ve düşünceleri;

- Sorun ne olabilir?
- Sorunun nedenleri ne olabilir?
- Sorunun etkileri neler olabilir?

Sorularına aldığı yanıtlarla değerlendiren ve belgeleyen bir metottur (Kara-Zaitri,1992).

Stamatis (1995), HTEA tanımlamasını, HTEA tasarım, proses, sistem ve hizmet ile ilgili olası hataların ve problemlerin müşteriye gönderilmeden saptanmasını ve engellenmesini amaçlayan mühendislik tekniğidir, şeklinde ifade etmektedir..

Literatürde HTEA ile ilgili oldukça fazla tanım mevcuttur:

HTEA, sistem ya da proses dizaynının olası hatalarını belirleyen, analiz eden ve dokümante eden sistematik bir yöntemdir, (Hammett 1999)

HTEA, bilinen ya da olası hataların, problemlerin vs. müşteriye gönderilmeden önce sistem, dizayn, süreç veya serviste belirlenmesi ve önlenmesini garanti eden sistemsel bir metottur. (Werwega, 2002)

HTEA, sistemin işleyişinde oluşan hataların sonuçlarını ve sebeplerini inceleyen bir tasarım bütünü ve bir kalite aracıdır. Yöntemin amacı, dizayndaki problemlerin belirlemesi ve problemlerin ortadan kaldırılmasıdır (Barkai, 2001)

HTEA, bir üründe ortaya çıkabilecek dizayn ya da proses tabanlı bütün hata türlerinin sistemsel bir şekilde analiz edilmesidir. Her türlü hatanın, kullanıcı üzerinde bırakacağı etkiler analiz edilir ve bu analizlerin tümü ürün ya da hizmet kullanıcıya ulaşmadan önce, tasarım ve deneme üretimleri esnasında gerçekleştirilip, hata oluşmadan engellenmesi amaçlanmaktadır. (Akın, 1998)

HTEA, olası hata türleri ve işleyişleri, bu hata türlerinin performansa etkisi ve olası önleyici faaliyetlerine yoğunlaşmış bir metottur. HTEA sonunda, hata türlerinin ortadan kaldırılması için nelerin yapılabileceği belirlenir. (Usuğ, 2002)

Boran(1996) HTEA tekniğini hastalık-aşı ilişkisi olarak değerlendirmiştir. İnsanlar hastalık öncesi, hastalığa yakalanmamak için aşı olurlar. Boran(1996) 'da hataların ortaya çıkmadan giderilmesinde HTEA tekniğinden yararlanıldığı için bu benzetmeyi, yapmıştır.

3.2. HTEA Tarihçesi

Son zamanlarda müşteri istekleri ve beklentileri ön planda tutulmaktadır. Beklenen performansı sağlayan kusursuz ürün ve hizmet üretmek için yapılması zorunlu hale gelen ve kullanım yerleri her geçen gün artan HTEA metodu ilk kez, NASA'DA güvenilirliği sağlamak için uzay gemisi yapımında kullanıldı. Fakat 1950'li yıllarda, Boeing ve Martin Marietta şirketleri genel olarak metot ve mühendislik uygulama sürecini tanımladıkları bir el kitabı oluşturmuşlardır(Boran, 1996)

1969 yılında Ay'a ilk insanı gönderecek olan APOLLO projesinde HTEA uygulanmıştır. HTEA, Proje maliyetleri çok yüksek olduğundan herhangi bir parça veya sistemin arıza yapmaması gerektiğinden bu projede kullanıldı. Diğer türlü proje çerçevesinde tüm sistemde yedekleme yapılması gerekiyordu. (Özay, 1999)

ABD Silahlı Kuvvetlerinde 1965-1970 yılları arasında problemlerin analiz edilmesi amacıyla MİL-STD olarak kullanılmış daha sonra 1970 yılında da çok gizli olmaktan çıkartılmıştır.(Özay, 1999)

1970-1975 yılları arası ABD'nin Uçak Sanayinde kullandığı HTEA'nın ilk endüstri uygulaması ise 1975 yılında Japon NEC firması tarafından yapılmıştır ve sonrasında bu metot bütün dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır(Usuğ, 2002).

HTEA Otomotiv sanayisinde de 1980 yılında FORD firması tarafından kullanılmaya başlanmış, ilerleyen zamanla sistem içinde değişiklikler yapılarak karmaşık askeri uygulamaların basitleştirilme işlemlerinde kullanılmıştır. HTEA metodu, Fransız Renault ve Citroen otomotiv firmalarında AMDEC olarak isimlendirilmiştir. 1985 yılında da FIAT şirketi FORD uygulamasından farklı olmayacak şekilde HTEA yöntemini uygulamaya başlamıştır. (Özay, 1999)

2001 yılında ise Ristord nükleer araştırmalarda uygulanmak üzere Belçika'da HTEA prosedürü geliştirdi. Steven ve Ishii(2000) Tablo 3.1'de tarihsel sıralı HTEA ile ilgili yayınların bir kısmı belirtilmiştir.

Tablo 3.1. HTEA Yayınlarından Bir Kısmının Listesi(Steven ve Ishii, 2000)

Yıl	HTEA Yayını
1964	"Failure Effect Analysis", Transactions of NY Acad. Of Sciences
1974	US Department of Defense Mil-Std 1629 "Procedure for Performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis"
1980	US DoD Mil-Std 1629A
1984	US DoD Mil-Std 1629A/N0tice
1985	International Electrochemical Commission (IEC) 812 "Analysis techniques for system reliability-procedure for failure mode and effect analysis"
1988	FORD published " Potential Failure Modes and Effects Analysis in Design and for Manufacturing and Assembly Processes Instruction Manual"
1994	SAE Jl739 Surface Vehicle Recommended Practice
1995	‘’FMEA: From Theory to Execution’’ (D.H. Stamatis)
1996	Verbrand der Automobil Industrie, Germany VDA Heft 4 Teil 2
1996	"The basic of FMEA" R.E. Mc. Dermott et al)
1998	Proposal for a new FMECA standard for SAE (J. Bowies)
2000	TS/ISO 16949
2002	AIAG-QS 9000 Third Edition

Günümüzde otomotiv, beyaz eşya, elektrik-elektronik gibi birçok endüstride üretilen ürünlerin yapılarındaki karmaşıklık artışı, beraberinde güvenilirlik beklentilerinde de artışa sebep olduğundan HTEA metodunun daha yoğun uygulandığı alanlar olması sağlanmaktadır. HTEA yöntemi kullanılan malzeme, süreç tasarımı, kullanım yeri ve müşteri isteklerinin göz önüne alındığı, özellikle montaj sırasında, kusursuz ürünü üretebilmek için zorunlu bir araç olmaktadır. (Boran, 1996)

1988'de Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu ISO 9000 serisi piyasada yayınlandı. Bu seri, bütün organizasyonların kalite yönetim sistemi yöntemini, müşteri istek ve ihtiyaçlarına göre şekillenmesine zorladı. Otomotiv sektöründe ISO 9000 sistemi QS 9000 olarak adlandırıldı. Otomotiv tedarikçileri de tasarım ve proses HTEA'sını ve geliştirmiş oldukları kontrol planlarını da içinde barındıran Gelişmiş Ürün Kalite Planını kullanmaları QS 9000' deki gözlemlenen değişmelerdi (Usuğ , 2002)

HTEA ile ilgili standartlar ise aşağıda sıralanmıştır: (Pentti ve Atte, 2002)

- IEC 60812, Uluslararası Elektroteknik Komisyon tarafından yayınlanmıştır,
- MIL-STD 1629A, 24 Aralık 1980 yılında Amerika Savunma sanayince yayınlanmış olup, otoriteler tarafından 1998 yılında iptal edilmiştir.
- SAE J-1739, Otomotiv Mühendisleri prosedürü,
- DIN 25448, Almanya, (Ausfallffekten Analyse, Fehler Möglichkeits und Einflua Analyse)
- BS 5760, İngiltere,
- ISO/TS 16949:2002, Uluslararası Standardizasyon Enstitüsü,
- AIAG-QS 9000, Otomotiv Endüstrisi Hareket Gurubu,
- AMDEC, Renault Şirketinin (Analyse des Modes de Defaillance, de leurs Effets, et de leur Criticite),
- IEEE STD 352-1975, General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generation Protection System.

3.3. HTEA' nın Uygulanma Nedenleri ve Özellikleri

1980'li yıllardan bugüne kalite ile ilgili yapılan çalışmalar, yeni bir sistem oluşturulma aşamasında karşılaşabileceğimiz tüm problemleri saptayıp ortadan kaldırarak güvenilirliğin artmasına ve kalitede sürekli iyileştirme sağlayacak

yöntemler geliştirme üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Sürekli iyileştirme, geçmişte yaşanan sorunların kaydedilerek, gelecekte aynı sorunların tekrar gündeme gelmesinin önüne geçilmesiyle meydana gelecektir. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) de bu amaç doğrultusunda hareket eden bir tekniktir. Bu teknik, gelecekte ortaya çıkması muhtemel olan hata türlerini, hata türlerinin etkilerini ve sebeplerini belirleyip, hataların ortaya çıkmasını engellemeyi hedef olarak belirler. HTEA, ürünün dizayn ya da sürecinin geliştirilmesinde yararlanabilecek niceliksel bir yöntemdir. HTEA, sahip olduğu bu özelliklerinden, Toplam Kalite Yönetimi (TKY) içerisinde önemli bir rol üstlenmektedir. Toplam Kalite Yönetimi kalite üretmeyi hedef almıştır. Burada kontrol işleminin önemli olmasıyla birlikte, kontrol yolu ile hatanın saptanması, elde edilmek istenen başarıya ulaşmamaktır. Bunun yerine hatanın oluşma sebepleri incelenerek ortaya çıkmasına engel olmak, yani kusursuzluğu hedef almak gerekmektedir. (Boran, 1996)

HTEA' da değerlendirme çözümlemesi iki farklı şekilde yapılabilir: Birincisi, hatayı tarif etmek için geçmişteki verilerin kullanması; (benzer ürün ve/veya hizmetler için benzer verilerin analizi) garanti dataları, müşteriden gelen şikayetler ve diğer hazırdaki veriler. İkincisi, istatistiksel sonuç, matematiksel model, simülasyon, eş zamanlı mühendislik ve güvenilirlik mühendisliği gibi metotlar hataların tanımlanması ve belirlenmesi amacıyla kullanılabilmektedir. (Yılmaz, 1997).

HTEA' da uygulanan bir yaklaşım diğer bir yaklaşımdan daha iyi ya da biri diğerinden daha doğru olduğu sonucunu doğurmaz. Her iki yakşaım da uygulanması gerektiği gibi kullanıldığı durumda etkili ve doğru uygun olabilir. (Yılmaz, 1997)
Etapları uygulanması gerektiği gibi uygulanan bir HTEA mevcut riskleri azaltıcı bir yol gösterecektir.

HTEA sistem, tasarım, proses ve hizmette hataların kullanıcıya gönderilmesinden önce, erken evrelerde engel olan önemli yöntemlerden birisidir. (Stamatis, 1995)
Memnuniyet seviyesinin artırabilmek için öncelik ürünün kalitesi olmalıdır. Misyon, müşterinin memnuniyet seviyesini kaliteyi sürekli geliştirerek artırmaktır. (Hatalar, kusurlar, yüksek maliyet gibi, kullanıcının talep etmediği öğelerin devamlı önlenmesi). İşletmeler, kendi amaçlarını destekleyici pek çok kalite ölçütünden

yararlanmalıdır. Bu ölçütler için zaman zaman gösterge, kritik ya da anlamlı karakteristikler ifadeleri de kullanılmaktadır. (Stamatis, 1995)
Karakteristik seçiminde araç, kalite problemlerinin ürünün kullanıcıya ulaşmadan önce saptanması ve çözüme kavuşmasındaki yeterliliktir (ya da kullanıcı memnuniyetsizlik seviyesinin ölçme yeterliliği de denebilir); (Yılmaz, 1997)

Kritik Karakteristikler, yasal düzenleme ya da ürün ve/veya servis güvenliğini etki altına alabilen karakteristiklerdir. Bu karakteristikler resim ve/veya usüllerinde (Örneğin HTEA Fonu) belirlenmelidir.

Anlamlı Karakteristikler, süreç, ürün ya da hizmetin kalite niteliklerinin toplanması gerekli olan verilerdir.

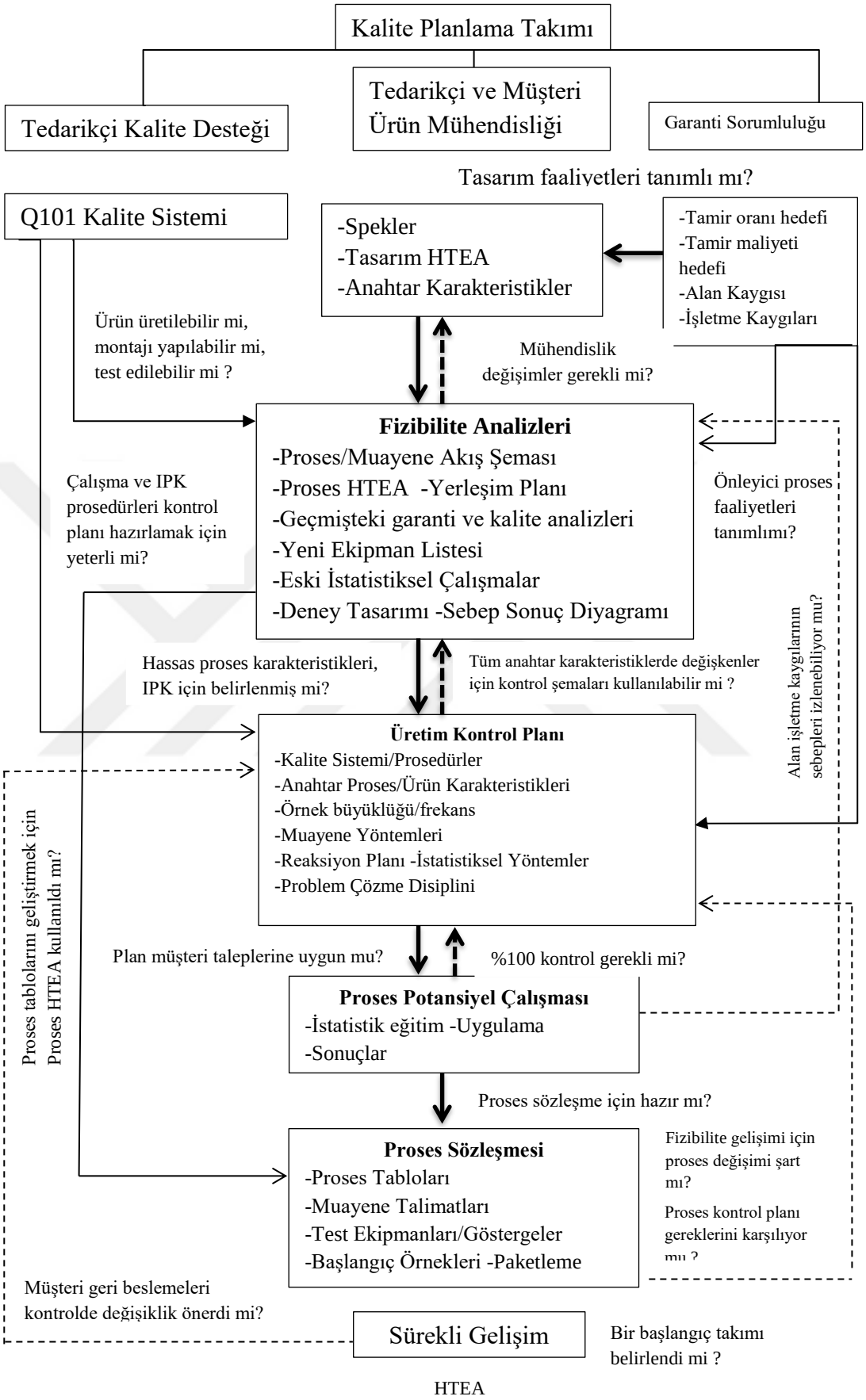
HTEA' nın yinelemeli (iteratif) özellikteki prosedürü ile olası hatalar tanımlanır; her bir olası hatanın nedenleri belirlenir; müşteri üzerindeki etkileri değerlendirilir, uygulanan kontroller gözden geçirilir; düzeltici faaliyetler önerilir ve bunların uygulanması izlenir. Bu uygulama sürecinden HTEA' nın aynı zamanda bir sistem analizi tekniği ve bazılarının anladığı şekilde olası hataları alfabetik olarak listeleyen bir teknik olma yerine, kaliteyi geliştirmeyi sağlayan sistematik ve analitik kalite planlama aracı olduğu görülmektedir. (Boran, 1996)

Dikkat edilmesi gereken bir nokta hatanın türleri ve etkileri arasında ilişkilerin karmaşık olabileceğidir. Örneğin, tek bir sebep birden fazla etki oluşturabileceği gibi birçok etkinin sebebi tek de olabilir.

Daha da karmaşık hale getirilirse nedenler başka sonuçlarında nedenleri olabileceği gibi, etkiler de diğer etkilere etken olabilir.

Benzer şekilde Otomotiv Endüstri Hareket Grubu (AIAG- The Automotive Industry Action Group-QS 9000) göre ise HTEA' da, bir bileşen, alt sistem veya sistem tasarım çalışmalarında potansiyel hatalarla karşılaşılabilir. Potansiyel hata türleri, daha üst kademelerdeki alt sistemler veya sistemler veya daha alt kademedeki etkilerin etkisi içerisinde potansiyel bir hatanın nedeni olabilir. (Steven ve Ishii, 2000)

Şekil 3.1.'de FORD Motor Company'nin HTEA optimal dizayn araçları görülmektedir.



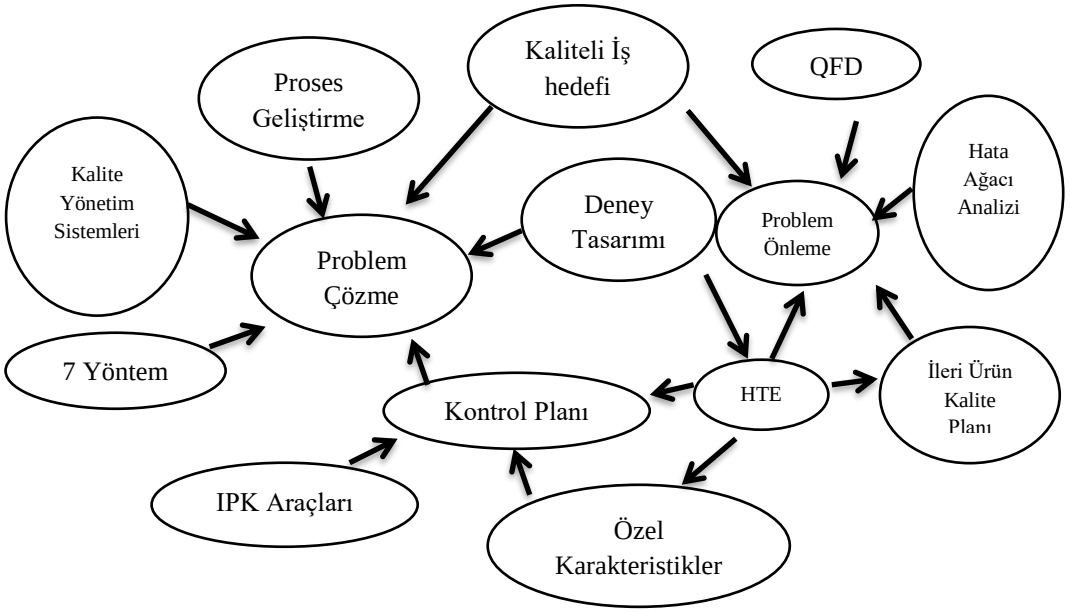
Şekil 3.1. HTEA İlişkileri(Stamatis,1995)

Aynı zamanda HTEA, Şekil 3.2. de gösterildiği gibi QS-9000 beş ana unsurundan biridir. (Usuğ, 2002)



Şekil 3.2. QS 9000 Ana Unsurları(Usuğ,2002)

HTEA' nın risklerin azaltılması için farklı yollar araştıran bir teknik olması, işlemin en mükemmel biçimde uygulanmasını ve bir sonraki kademeye hatasız erişmesine yardımcı olacaktır. Böylelikle ortaya çıkması muhtemel olası hatalar HTEA yardımı ile önlenip tasarım, proses ve sistemlerin güvenilirlik seviyesi artacaktır(Boran, 1996) Bu özelliklerinden dolayı HTEA şekil 3.3'de de gösterildiği üzere , Toplam Kalite Sistemi içerisinde de önemli bir role sahiptir. (Usuğ, 2002) HTEA aynı zamanda birçok kararların verildiği bir süreci içerir. Olası hata şekillerinin, nedenleri ve etkilerinin neler olacağı, çeşitli olası durum ve koşullar değerlendirilerek kararlar verilmesiyle belirlenir. Ancak bu kararlar belirsizlik altında verildiğinden bu durumda HTEA, risk altında karar verme yöntemi olarak da tanımlanır.



Şekil 3.3. Toplam Kalite Sisteminde HTEA'nın Rolü(Usuğ,2002)

HTEA ile elde edilen bilgiler tasarımda, üretim sürecinde değişiklikler yapma, kullanılan malzemeyi değiştirme, kalite kontrol ve kalite muayene ölçütlerini tekrar gözden geçirme gibi kararların verilmesinde kullanıldığından, yöntem böylece karar verme aracı olarak da değerlendirilir. (Boran, 1996)

HTEA tekniğinin kullanım amaçlan şu şekilde özetlenebilir; (Vorley, 1999)

- "İlk seferde doğru yap",
- Ürünlerin tasarım ve imalatıyla ilgili olası hata şekilleri ve nedenlerini belirleyip değerlendirmek,
- Olası hatanın ortaya çıkma şansım ortadan kaldırmak veya azaltmak için gerekli faaliyetleri belirlemek,
- Uygulama sürecini yazılı hale getirmek.
- Testler ve denemeleri birkaç ürün ile sınırlandırmak,
- Kural koyucu nedenler,
- Sürekli gelişim,
- Önleyici yaklaşım,
- Takım inşası

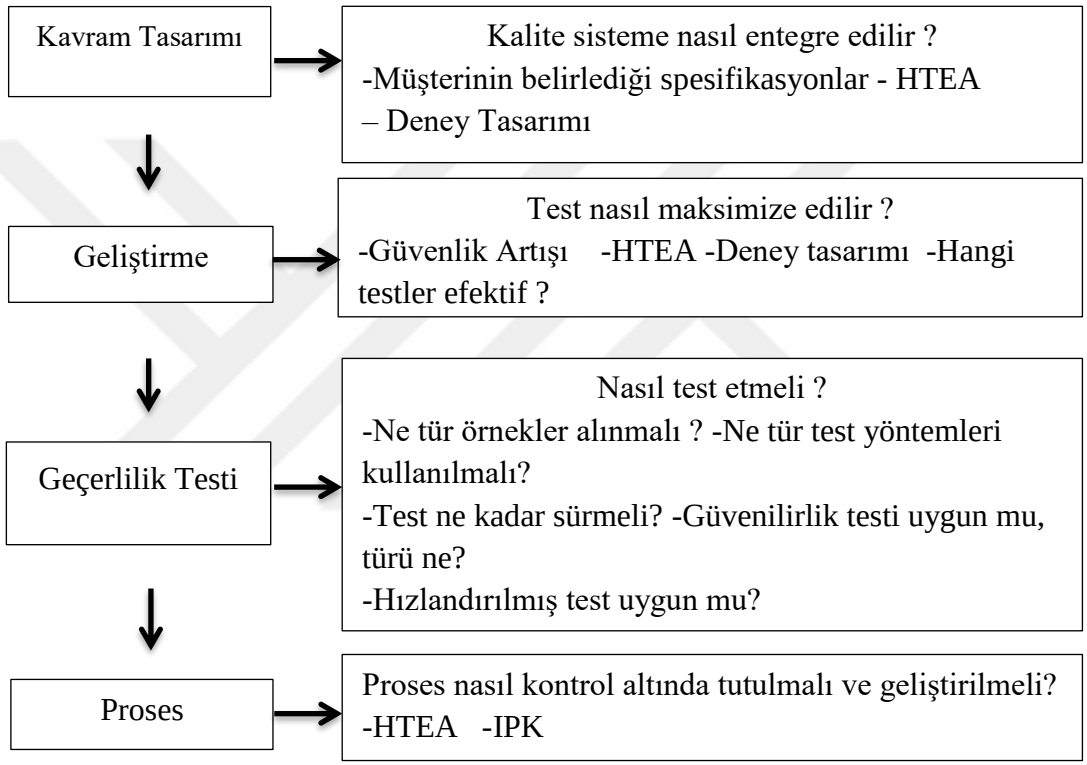
3.4. HTEA Projesini Başlatma

HTEA bilinen veya potansiyel problemlerin eliminasyonu ile müşteri memnuniyetini maksimize eden bir metodolojidir. HTEA mümkün olduğunca erken, hatta bütün gerçekler ve bilgiler mevcut değilken başlatılmalıdır. Gerçekten, başlamak için en iyi zaman var mıdır? Evet, bazı bilgiler oluşur oluşmaz HTEA başlamalıdır. Uygulamacılar bütün bilgilerin toplanmasını beklememelidir. Şayet, bu beklenirse HTEA asla yürütülemez. Çünkü bütün veri ve bilgilere hiçbir zaman sahip olunamaz. Gerçekten, ön hazırlık bilgileri ile bazı sistem kısıtları ve tasarım tanımları geliştirilebilir. HTEA hazırlığındaki bu ön fikirler Şekil 3.1. 'de gösterilmiştir. (Stamatis,1995)

Açık olarak, HTEA programı, aşağıdaki gibi durumlarda başlatılmalıdır. (Akın, 1998)

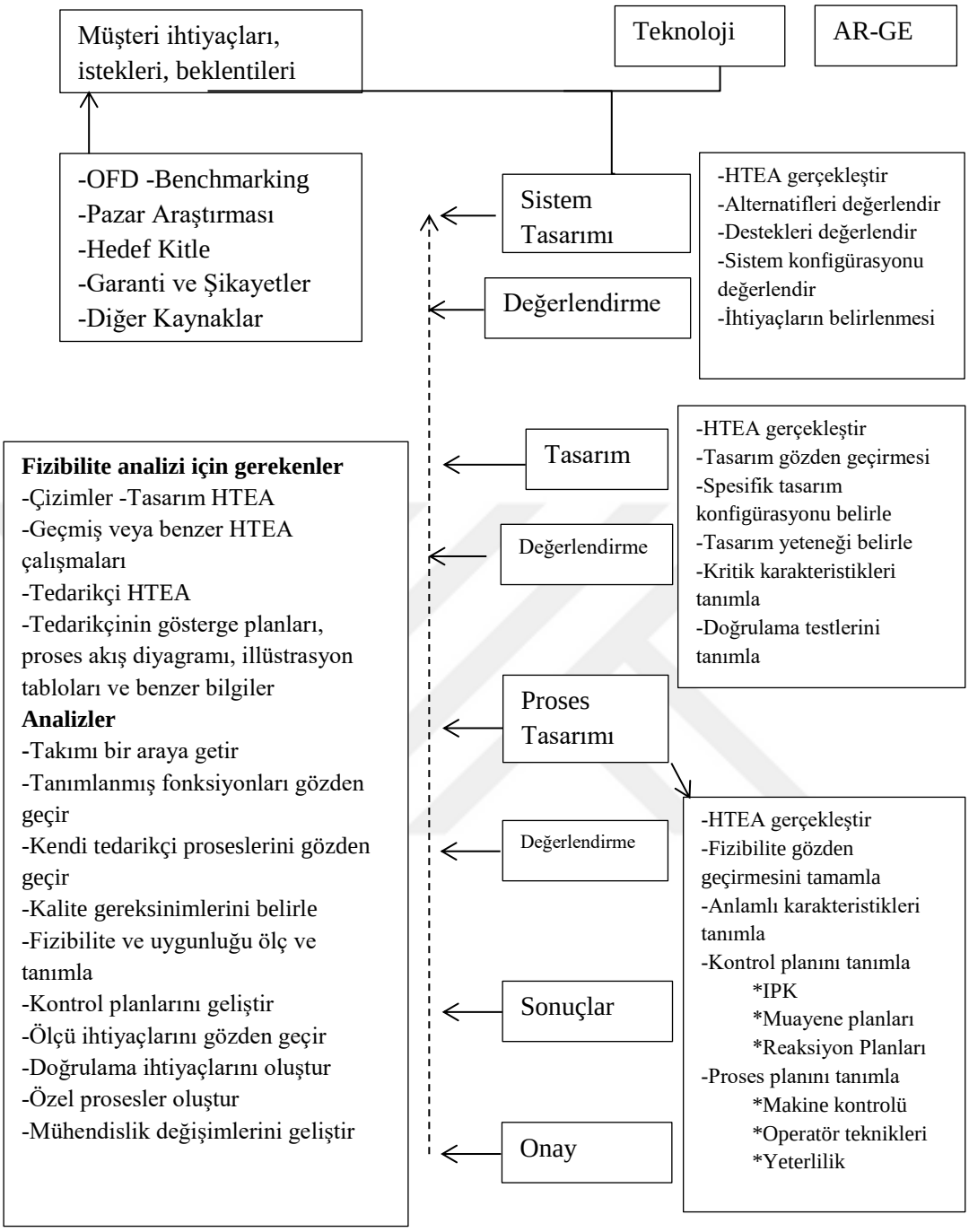
- Yeni sistemler, tasarımlar, ürünler, prosesler veya servisler tasarlanırken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler sebeplerine bakılmaksızın değiştirilirken,

- Mevcut koşullardaki sistem, tasarım, ürün proses veya servisler için yeni uygulamalar bulunurken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servislerin geliştirilmesi düşünüldüğü zaman.
- HTEA, sürekli gelişim yolunun haritasıdır. Bu özelliği ile HTEA sistem fikrinden üretim ve servise kadar her aşamada başlatılabilir. Bu yol haritası Şekil 3.4.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Ürün Mühendisliği ve HTEA'nın Yol Haritası (Stamatis,1995)

FMEA başladıktan sonra, yaşayan bir doküman olur. Sürekli gelişimin gerçek bir dinamik aracıdır. Başlangıç aşamasına bağlı değildir. Sistem, tasarım, ürün, proses veya servis süreçlerinin gelişimi için bilgileri kullanır. Sürekli olarak, gerektikçe güncelleştirilir. Tasarımın değerlendirilmesi, Şekil 3.5.' de verilmiştir.



Şekil 3.5. Tasarımın Değerlendirilmesi(Stamatis, 1995)

3.5. HTEA Projesini Sona Erdirme

HTEA' yı sona erdirmenin belli bir zamanı var mıdır? Evet, sadece, sistem, tasarım, ürün, proses veya servisin sona erdirilmesi veya sürdürülmesi kararı verildiği zaman. Açık olarak;

- Sistem HTEA, bütün donanımın belirlendiği ve tasarımın son şeklini aldığı noktada,
- Tasarım HTEA, üretime geçişin kesin tarihi saptandığında,
- Proses HTEA, bütün proseslerin belirlendiği, değerlendirildiği ve bütün kritik ve anlamlı karakteristiklerin kontrol planlarına taşındığı anda,
- Servis HTEA, sistem tasarımı ve bireysel görevlerin tanımlandığı, değerlendirildiği, ve bütün kritik ve anlamlı karakteristiklerin kontrol planlarında adreslendiği zaman sona erdirilmesi düşünülebilir.

Bununla beraber, bu noktalarda sona erdirilmiş HTEA çalışmaları, gözden geçirme, değerlendirme ve/veya sistem, tasarım ürün, proses veya servisin geliştirilmesinde, tasarım, ürün proses veya servis var oldukça tekrar HTEA çalışmalarına açık olmalıdır. Genel bir kural olarak HTEA ürün ömrü süresince güncel olmalıdır. (Stamatis, 1995)

HTEA'nın başarısı, çıkarılan sonuçları iyileşme ve gelişme programlarına dönüştürülmesiyle gerçekleşir. Organizasyonun tamamı tarafından bu gelişme stratejisi kabul görmediği durumlarda HTEA dinamiklik özelliğini yitirir. (Akın, 1998)

3.6. HTEA Çalışma Ekibini Oluşturma

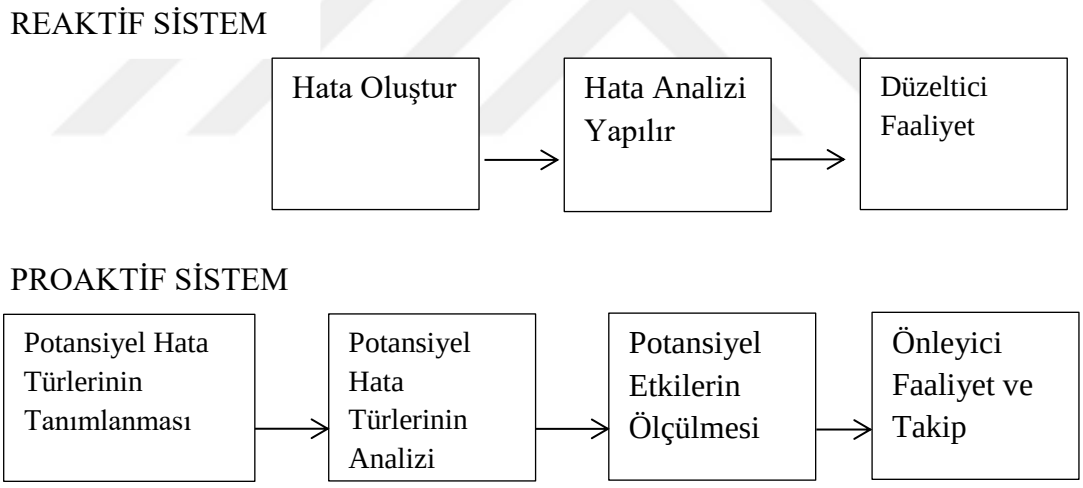
HTEA, bir takım fonksiyonudur ve bireysel olarak yapılamaz. HTEA projeleri, spesifik projeye uygun bir takım tarafından yürütülür. İşletme belli kişilerden oluşmuş bir HTEA takımı kurarak tüm HTEA projelerini bu takıma yaptıramaz. Takım proje bazında kurulmalıdır. Spesifik bir problem için gerekli bilgi ve deneyim sadece bu spesifik probleme özgüdür. Bu sebeplerden dolayı, takım her bir HTEA projesi için fonksiyonlar arası ve disiplinler arası olmalıdır ki analiz çok yönlü olsun. Hiç bir durumda HTEA bir birey (tasarım veya proses mühendisi) tarafından yapılamaz. (Stamatis, 1995)

Bir birey HTEA formunu uygun olarak doldurabilir fakat tek bir birey HTEA yürütümünde sınırlı bir bakış açısına ve önyargılara sahip olabilir. Eğer, zaman kısıtı bütün takımın çalışmalara katılmasına müsaade etmiyorsa, tavsiye edilen yöntem,

HTEA takım liderine hataları takım huzurunda sunması ve tüm takım üyeleriyle değerlendirmenin yapılmasıdır. (Stamatis, 1995)

HTEA ile içerilen kavram ve prosedürler yeni değildir; tasarım, planlama ve üretim faaliyetlerinde yer alan mühendisler, eskiden beri bu yöntemi, yöntemle ilgili çeşitli görüşleri ele alarak, kağıda dökmeden zihinlerinde şekilsel olmayan (informal) bir yapıda uygulamaktaydılar. Deneyimlerini esas alarak oluşturdukları düşüncelerini çok seyrek olarak herhangi bir kağıda karalamak şeklinde aktarmaktaydılar. Mükemmeli yakalamada etkin bir analitik teknik olan HTEA, bugün oluşturulmuş belirli bir düzen içerisinde gerçekleştirilirken yine çalışanların deneyim ve düşüncelerinden yararlanmaktadır. (Boran, 1996)

HTEA' nın çalışanların bilgi ve deneyimlerini zorlamasından dolayı, Şekil 3.6.'da da gösterildiği üzere, oluşturduğu sistem reaktif sistem yerine proaktif sistem halini almaktadır. (Usuğ, 2002)



Şekil 3.6. Reaktif ile Proaktif Sistemin Karşılaştırılması(Usuğ,2002)

HTEA takımı, direkt yönetilip ve bir konu üzerine odaklanmayı sağlarsa, kendi spesifik yöntemlerini kullanırlarsa, ölçülebilir değerler kullanırlarsa ve bu çalışmaları organizasyon içerisine yayabilirlerse başarılı olurlar. (Cayman, 2002)

Çalışmalar incelendiğinde, HTEA'nın üç ve yedi kişiden oluşan bir ekip olması ve ekiptekilerin farklı birimlerde çalışması başarıyı artırıcı bir faktör olarak görülmüştür.

Ekip elemanları hem bulundukları bölümün temsilcileri olup hem de kalite temsilcisi olmasından dolayı bulundukları departmanda diğer çalışanları teşvik etmelidirler. HTEA takım liderine HTEA animatörü denilmektedir. (Akın, 1998)

3.7. HTEA Yararları

HTEA' nın yararları aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Vorley, 1999)

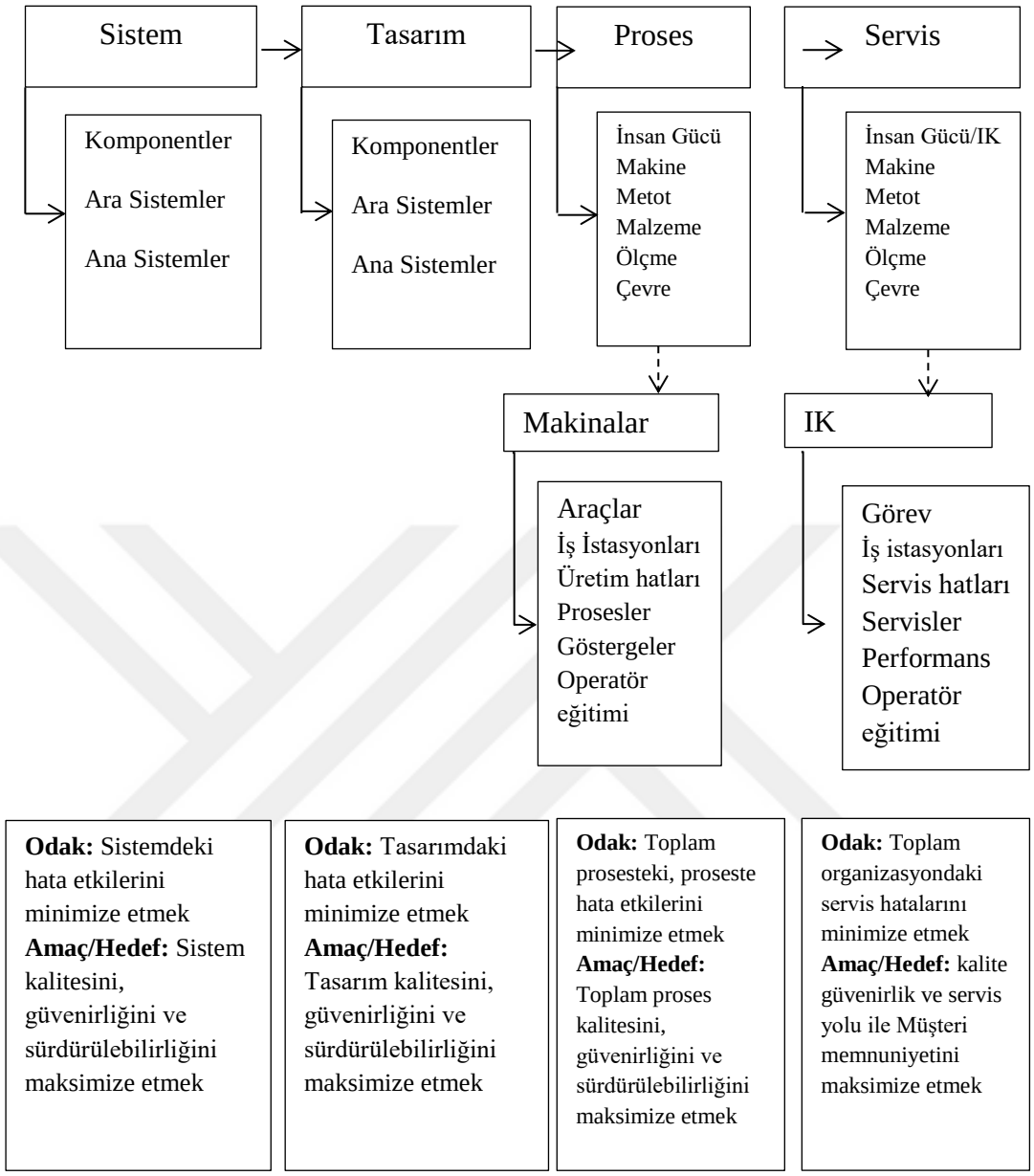
- Ürünlerin veya hizmetlerin kalite, güvenilirlik ve emniyetini geliştirir,
- Şirketlerin toplumdaki imajını ve rekabet edebilirliğini geliştirir,
- Müşteri tatmininin artmasına fayda eder,
- Riski azaltmak için yapılan faaliyetlerin izlenmesini ve belgelenmesini sağlar,
- Tezgahlarda, donanımda ve kalıplarda olası değişikliklerin daha tasarım sırasında görülmesini ve kağıt üzerinde yapılan değişikliklerin maliyetinde azalma sağlar,
- Muhtemel hataların önceden görülmesi ve elimine edilmesi sonucunda, ürünün hazır olma ve pazara sunuş süresini kısaltır,
- Müşteri kullanımı sonrasında oluşacak hatalarında dikkate alınıp önlenmesi sonucunda garanti giderlerinde azalmanın sağlar,
- Ürün yükümlülüğünde daha az risk alınır,
- Azalan süreç içi hurdalar, erken işbirliği, planlama kabiliyetindeki artış, hata maliyetlerinde azalma, sistemin tümüne bakabilme vs.

3.8. HTEA Çeşitleri

Yeni veya var olan bir ürün veya hizmet geliştirme amacı kullanılan tekniklerden bıri olan HTEA sırasıyla sistem, tasarım, proses ve servis adımlarından oluşmaktadır.
HTEA genel kullanım alanlarına göre,

- Sistem HTEA
- Tasarım HTEA
- Proses(Süreç) HTEA
- Servis HTEA

olmak üzere, 4 çeşide ayrılmaktadır. (Stamatis, 1995). Şekil 3.7.'de HTEA çeşitleri ve aralarındaki ilişkiler gösterilmektedir.



Şekil 3.7. HTEA Çeşitleri (Stamatis, 1995)

3.8.1. Sistem HTEA

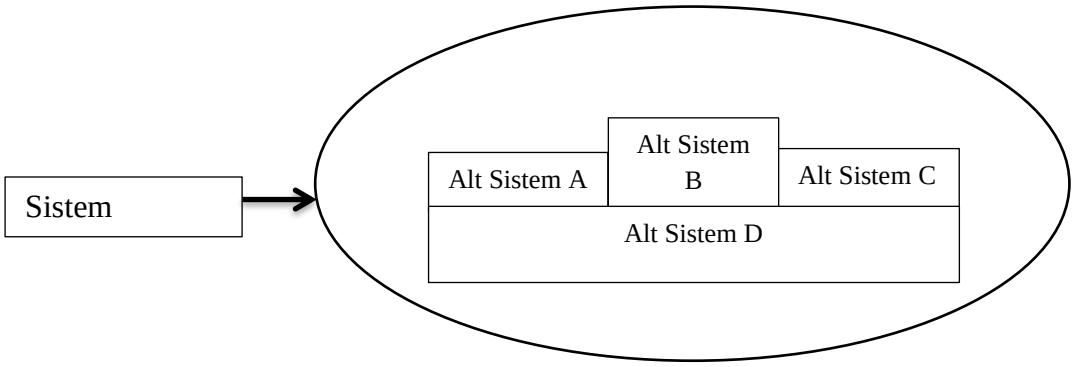
Tasarım ve kavramların ön aşamalarında sistem ve alt sistemleri analiz ederek, sistem eksikliklerinden doğan sistem fonksiyonları arasındaki hata türlerini belirlemeye odaklanır. (Akın,1998) Sistem HTEA, aşağıda belirtilen sistem kademelerini ve aralarındaki ilişkileri ayrıntılı inceleyerek en uygun tasarım alternatifinin seçilmesine yardımcı olur. (Mohr, 2002)

- Sistem, görevi bir misyonu veya işlevi başarmak olan alt sistemlerin birleşimi . (materyal, araç, personel, olanaklar, yazılım vs.),
- Alt sistem, fonksiyonları bir misyonu başarmak için gerekli spesifik aktiviteleri elde etmek için birleştirilen montajlar birleşimi,
- Montaj, alt montajların birleşimi,
- Alt montaj, bileşenlerin birleşimi,
- Bileşen, parçaların birleşimi,
- Parça, en düşük üretilebilen parça,
- Etkileşim, sistem elemanları arasında istenilen ve temel etkileri üretmek için gerekli etkileşim noktalarıdır(enerji ve bilgi transferi etkileşimi vb.)

Daha da anlaşılır hale getirmek için, sistem ile alt sistem arasındaki ilişki Şekil 3.8.'de resmedilmiştir. Alt Sistem A, hem alt sistem B hem de alt sistem D ile etkileşim halinde olup etkileşim halinde olmadığı alt sistem C ile çevre içerisindeki transferler yolu ile bağlantı kurmaktadır. Alt sistem A ile alt sistem C arasındaki ilişkiyi tahmin etmek oldukça zordur. (Carlson ve diğ., 2001)

Sistem HTEA, etkin olarak uygulandığı zaman hata türü ile güvenlik konularını ortadan kaldıracak ve hataları azaltacak potansiyel faaliyetlerin listesini belirleyebilecek olup faydaları aşağıda sıralanmıştır; (Akın,1998)

- Potansiyel problemlerin bulunabileceği alanlar daralır,
- Sistem seviyesindeki teşhis prosedürleri için temel oluşturulmasına yardımcı olur,
- Fazlalıkların tespit edilmesine yardımcı olur,
- Optimum sistem tasarım alternatifinin seçilmesinde yol gösterir.



Şekil 3.8. Sistem ve Alt Sistem Arasındaki Etkileşim (Carlson ve diğ. 2001)

3.8.2. Tasarım HTEA

Tasarım HTEA, ürün üretimine başlamadan önce yapılan, ürün imalat sürecinde, montajda ve kullanıcı tarafından kullanım esnasında meydana gelebilecek tasarım kaynaklı problemlerin saptanması ve önleyici tekniklerin uygulandığı metottur. (Usuğ, 2002)

Tasarım HTEA, ürün güvenilirliğine veya emniyetine zararı olabilecek herhangi bir kritik durum anında ya da hassas noktaların belirlenmesi için, tasarım analiz etmenin bir yöntemidir. (Özay, 1999)

Tasarım HTEA, ürünün üretimine başlamadan önce karar verilir ve işlem yapılır. Tasarım kaynaklı hatalardan, servis ya da veya üretim aşamasında meydana gelebilecek muhtemel ürün hata şekillerini inceler.

Tasarım bütünlüğünün kalıcı olması amacı ile yola çıkar, tasarım aşaması haricinde üretim, montaj, donanım ve kullanıcının kötü kullanmasından kaynaklı üründe oluşabilecek tasarım ile ilgili problemleri inceler. Bu metot ile sistemin ya da bileşenlerinin güvenilirlik riskleri yazılı ifade edilir, bütün hata türlerinin etkilerinin analizi yapılır ve düzeltici faaliyetler/eylemler planlanır. Tasarım HTEA, tasarım noktalarının değerlendirilmesine katkı sağlamak ve düzeltici faaliyet önceliklerini oluşturmak için tasarımın ilk etabından son etabına kadar sürekli biçimde uygulanmalıdır. Tasarım HTEA tekrarlamalı yapısı ile bu isteğe uygunluk göstermektedir. (Boran, 1996)

Etkili bir Tasarım HTEA uygulaması için, ürün geliştirme, pazarlama gibi teknikler ve metotlar uygulama ile iç içe olmalıdır. En optimal tasarım özelliklerinin belirlenmesi amaçlı Tasarım HTEA başarısı için aşağıda yer alan bigiler analiz edilmeli ve sistematik hareket edilmektedir.

- Tasarım odaklı uygulama,
- Uyulması gereken belgeler : Standartlar, Güvenlik ve uyarı belgeleri, Benzer ürünler için geçerli dokümanlar
- Genel bilgiler : Ürün işlevleri, Müşteri isteklerini algılama, Müşteri ihtiyaç, istek ve beklentileri, Müşterilerin doğru ya da hatalı kullanabileceğinin anlaşılması

- İhtiyaçlar: Tasarım ihtiyaçları
- Elektriksel,
- Mekaniksel
- Geçerlilik,
- Hizmetin ömrü,
- Güvenlik,
- Materyaller/Malzeme,
- Çevre şartları,
- Kontrol,
- Parça standartları: Bakım fikirleri, Maliyet hedefi, Tasarımdaki seçenekler, Kritik Düzenler .
- Ürünlerin garantisi: Dokümantasyon ihtiyaçları, Test ve muayene ihtiyaçları, Ürünleri paketlenmesi ve sevkiyat ihtiyaçları, (Stamatis,1995)

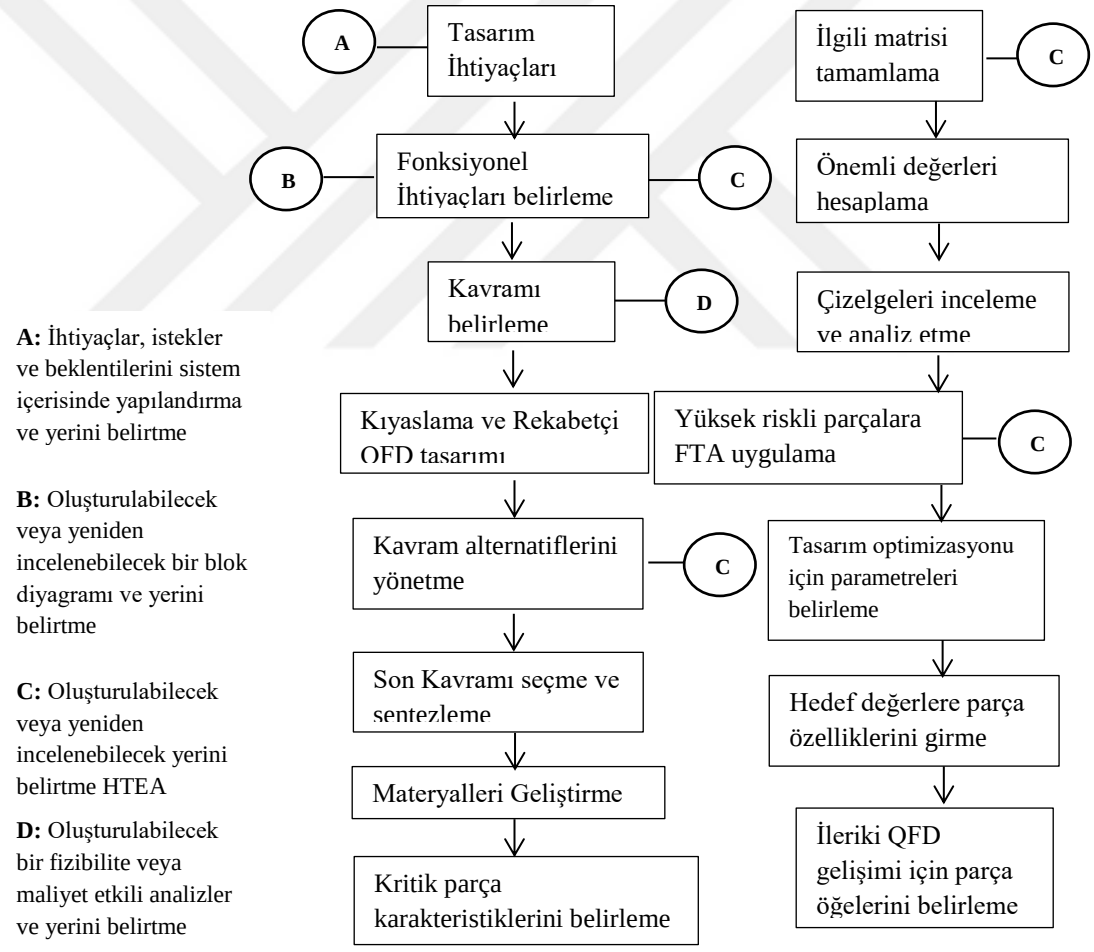
Tasarım HTEA ile yukarıda belirtilen maddelerden ulaşılan bilgiler birçok noktada, başta test ve muayene sınırlarının belirlenmesinde, önleyici bakım faaliyetlerinin uygulanmasında, işlemsel kısıt ve faydalı ömür saptanmasında kullanılmaktadır. Bu metotla tasarım hatalarının uygun zamanda onarılması ve tasarımdaki değişikliklerin yapılması sağlanacağı için, meydana gelecek hataların ortadan kaldırılması için harcanan zaman azalacak, kullanıcılar hataların negatif yönleriyle karşılaşmayacaklardır. Böylece ürünlerin ya da sistemlerin güvenilirlik ve emniyet seviyelerinde artış gözlemlenecektir. Bunlardan dolayı tasarım HTEA, tasarım yaklaşımları ile ilgili karar alınmasında ve tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi noktasında yararlı bir yöntem olarak ifade edilir. (Boran, 1996)

Tasarım HTEA' nın yararlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz; (Ford, 1988)

- Tasarım istek ve seçeneklerinin nesnel(objektif) değerlendirilmesinde yardımcı rol oynar,
- Muhtemel hata dizinleri ve sistemin çalışmasındaki etkilerini, tasarımın gelişme noktasında göz önünde bulunmasına yardım eder,
- Gelişme, iyileşme programlan ve planlarda kullanılacak bilgiyi temin eder,
- Kullanıcı üstündeki etkilere göre listelenmiş muhtemel hata dizinlerini kullanarak tasarım geliştirme sırasında öncelik planını kurar,

- Performans düşüklüğüne sebep olan riskleri takip etmek ve problemlerle ilgili tavsiyelerde bulunmak için kolay anlaşılabilen ve değerlendirilen genel şekilsel form (HTEA Formu) oluşumunu temin eder,
- İlgili kişi düşünce analizi, tasarımdaki değişiklik gösteren noktaların incelenmesi ve tavsiye edilen tasarımın geliştirilmesi aşamalarında faydalanacakları referans olur.

Şekil 3.9.'da mühendislik disiplinleri ve süreç geliştirme teknikleri ile Tasarım HTEA' mn parça geliştirme esnasında birlikte üstlendikleri roller gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Parça Geliştirme (Stamatis, 1995)

Tasarım esnasında oluşan olumsuzluklar, ürünün üretimi aşamasındaki, üretim prosesi kontrol yöntemleri ile önlenemeyeceğinden, üretim sürecine dayalı güveni

sonlandırıp oluşacak problemleri başlangıç esnasında Tasarım HTEA ile engel olmaya çalışılmalıdır. Tasarım HTEA yönteminde iki yaklaşımdan bahsedilebilir. İlk yaklaşımda, sistem/ürün bir bütün olarak ele alınır ve tüm alt birimlerin analizi yapılır. İkinci yaklaşımda ise ki uygulamada kabul alandır, parça-bileşen vb. gibi sistemlerin en alt basamağındaki birimlerden, alt montaj, alt sistem gibi aşamalardan da geçerek sistem veya ürünün en son basamağına kadar devam edilir. (Boran,1996). Ürünün incelenme aşamasının verimli bir şekilde yapılabilmesi için bölümlere ayrılır ve tasarım verileri gözden geçirilir. Bütün montaj elemanlarının işlevleri, ve etkileri değerlendirilir. Blok diyagramları yardımıyla da montaj elemanları ve işlevleri listelenir.

Ürün üzerinde etki oluşturabilecek operasyonel ve çevresel hata mekanizmalarının tespiti yapılır; potansiyel hatalar belirlenir. Birden fazla potansiyel hata bazı elemanlarda görülebilir. Sonraki adım olan montaj ya da nihai üründe meydana gelebilecek potansiyel hataların incelemesi yapılır. Oluşabilecek hataları önlemek/kontrol altına almak için düzeltici faaliyetler listelenir. Deneyimlerden yararlanılarak hata olasılıkları belirlenir. bu verilerle birlikte tüm sistemin hata olasılığı güvenilirlik teorisiyle hesaplanır.

3.8.3. Proses HTEA

Proses HTEA tasarım aşaması tamamlanmış ürünün minimum hatayla kullanıcıya ulaşımını sağlamak amaçlı, belirtilen özelliklere uyulmaması halinde üretim/hizmet noktasında meydana gelecek problemleri açıklamaya çalışır. Bu amaca ulaşmak için süreçte uygulanacak iyileştirmeler, yöntemin aynı zamanda süreç geliştirme yaklaşımı olarak ifade edilmesini sağlar. Proses HTEA, ürünlerin hatasız üretilmesi için analizi yapacak olanlara montaj ya da üretim süreçlerinde kullandıkları makina, alet, proses ve insan gücü etkilerini analiz ederek, üretim süreçlerini değerlendirme yani zayıf noktaları belirlenmesi olanağını verir(Boran, 1996)

Donanım ve çalışan hataları, uygunluğu kabul almamış malzeme ve metotların uygulanması sonucunda ortaya çıkan hatalar, proses HTEA ile ürünün üretilmesine başlamadan önce saptanabileceğinden kusurların düzeltilmesi hızlı olacaktır. Fakat makina, malzeme/ekipman, insan, yöntem, ölçme/değerlendirme ve çevre olarak

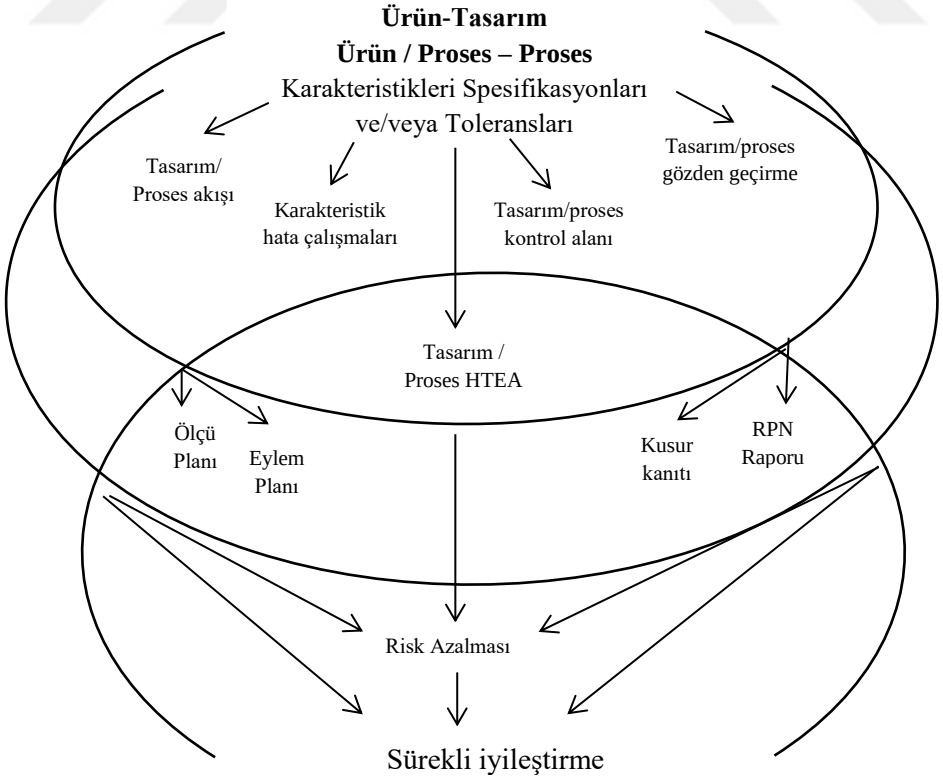
tanımı yapılan üretim bileşenleri arasında etkileşim olması Proses HTEA' nın zorlayıcı fazla zaman alan bir metot olmasına sebep olmaktadır. (Stamatis, 1995)

Proses HTEA; (Carlson ve diğ. 2001)

- Süreç işlevlerini ve gereksinimleri tanımlamak,
- Ürün ya da süreç ile ilgili muhtemel hata türlerinin tanımlanması,
- Muhtemel hataların müşteri üzerindeki sonuçlarının değerlendirilmesi,
- Muhtemel hata durumlarının belirlenmesi ya da ortaya çıkışlarını minimuma indirmeye odaklanan süreç değişkenlerini ve montaj/üretim süreç nedenlerinin tanımlanması,
- Süreç kontrollerine odaklanmış süreç değişkenlerinin tanımlanması,
- Düzeltici/önleyici faaliyetleri inceleyen öncelikli sistemlerin kurulması,
- İmalat ya da montaj süreç sonuçlarının doküman haline getirilmesi

amacı ile kullanılır

Şekil 3.10.' da Tasarım HTEA ile Proses HTEA' nın sürekli gelişim üzerindeki önemli rolleri gösterilmektedir. (Werwega, 2002)



Şekil 3.10. Tasarım ve Proses HTEA'nın Sürekli Gelişime Etkisi (Werwega, 2002)

Etkili bir Proses HTEA; satınalma, araştırma/geliştirme, üretim, kalitenin güvence altına alınması, pazarlama gibi temel faaliyet basamaklarını da içinde barındırmalı ve üretim teçhizatının tanımı yapılan ancak bunların üretimin yapılmadığı esnada uygulanmalıdır.

Tasarım HTEA ve Proses HTEA hataların ortaya çıkmasından önce problemi önlemeyi amaçlayan, fakat ürün ya da sistemin farklı noktalarına uygulanan metotlardır. Uygulama süreci içinde sadece yararlanılan bilgiler noktasında farklılıklar göstermektedirler. Her iki HTEA çeşidinden de faydalı dönüşler almak için yazılı raporların, analizin bitiminden sonra rafa kaldırılmaması, tavsiye edilen düzeltici faaliyetlerin/işlemlerin uygulamasının yapılması, sonuçların kayda alınması diğer bir deyişle "yaşayan", "dinamik" belgeler olması gerekmektedir(Boran, 1996).

Proses HTEA' nın sağladığı yararları şu şekilde özetlenir; (Cayman, 2002)

- Üretim planlama süreçleri içinde yer alan mantıksal mühendislik disiplinlerini formül şeklinde sistematik oluşturma,
- Ürün ile ilgili süreç hata türlerinin belirlenmesi,
- Hatanın kullanıcı üstündeki etkisinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi,
- Montaj/üretim analizlerine katkı sağlama,
- Düzeltici faaliyetlerin kurulumunun sağlanması,
- Değişimlerdeki oranların belgelendirilmesi,
- Gelişen kontrol planlarına katkı sağlamak için önemli ve kritik özelliklerin belirlenmesi.

3.8.4. Servis HTEA

Servis HTEA kullanıcıya ürün/hizmet ulaşmadan analizinin yapılmasına olanak verir. Bir Servis HTEA süreç ya da sistem yetersizliklerinden kaynaklı hata türlerinin nedenleri üzerinde yoğunlaşır. (Stamatis,1995)

Servis HTEA'nın uygulanması ile; geliştirme faaliyetleri arasında öncelik sırası düzenlenmesi ve değişiklikler için açıklamaların kayda alınması sağlanır. İş akışının, sistem ve süreç analizinin etkili olabilmesi, işteki hata ve kritik önemli işlerin saptanmasında ve kontrol planının yapılmasında rehber olması gibi faydalar sağlar. (Akın, 1998)

Servis HTEA' nın yararlarını şu şekilde sıralayabiliriz; (Cayman, 2002)

- İş akışlarınının değerlendirilmesine katkı sağlar,
- Süreç veya sistemin değerlendirilmesine katkıda bulunur,
- Görev tanımlamalarındaki eksiklikleri giderir,
- Kontrol planının geliştirilmesine önemli ve kritik görevlerin tanımlamasını yaparak yardımcı olur.

3.9. HTEA' nın Kapsamı

Kapsam analizin sınırı ve genişliğidir. Neyin içerilmesini ve neyin dışarıda bırakılması gerektiğini tanımlar. HTEA analizine başlamadan önce doğru sınırların belirlenmesi, HTEA analizinin yapılmayacağı alanlara girilmesini engelleyecektir. Kapsam doğru belirlenmediğinde;

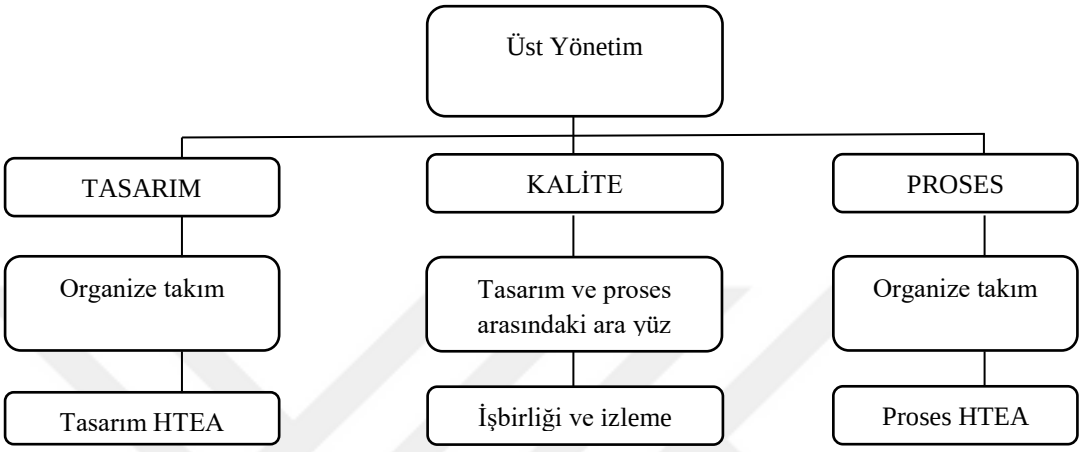
- Analizin süresi uzar,
- Hedef analize odaklanılmaz,
- Ekip üyeleri yanlış belirlenir.

Ekibin çalışmaya başlaması motivasyonun yaratılması ve çalışma hızının sağlanması için, yönetimin baştan itibaren desteği şarttır. Destek, faal ve gözle görülebilir olmalıdır; örneğin üst düzey yöneticiler öncelikli sistemler ve bileşenler için HTEA' ları gözden geçirebilir. (Duman, 2001).

3.10. Karar Alma Süreci ve Hazırlık Çalışmaları

HTEA'nın son kullanıcıya dolayısıyla şirketlere olan faydası dikkate alındığında, bu çalışmanın bir ekip işi olduğu unutulmamalıdır. Tekniğin uygulanması proje ve sınırların seçimine bağlı olarak belirli bir zaman aldığına ve sonuçta bir sorumluluk, emek ve faydasına oranla düşük de olsa bir maliyet getirdiğine dikkat etmeliyiz(Keser, 1998). Yanı sıra, şirketlerin rekabet edebilmeleri için de, piyasa ve teknolojik değişiklikler sonucu ortaya çıkan, çeşitli operasyonlardaki hatalarını önleme veya riskleri azaltma mecburiyetindedirler(Akın, 1998). Bütün bunlar göz önüne alındığında HTEA çalışmasının başlatılması kararı, ürün gerçekleştirme sürecine katkıda bulunanların herhangi birinin girişimi veya talebi ile başlatılabilir olmasına rağmen, HTEA çalışmasının uygulanacağı birimin sorumlusunun onayı alınmak zorundadır.

Onay alınmadan herhangi bir HTEA çalışmasına girilmemeli ve çalışmanın başarılı olması için doğrudan üst yönetim desteği alınmalı ve üst yönetim bu çalışmaları yakında denetlemelidir. Şayet üst yönetimin çok ciddi kararlılığı olmaz ise beklenen sonuçlar görülemeyebilir(Keser, 1998). Şekil 3.11.'de HTEA yönetimi açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.11. HTEA Yönetimi (Kara-Zaitri(1996)

Üst yönetimin başlangıçta çalışmaları yönetecek takım liderini seçmesi gerekmektedir. Takım liderinin uygulanan HTEA çeşidine göre konusunda deneyimli ve ilgili departmanlardan seçilmesi tavsiye edilir.

Kısaca, sistem analizi esasına dayanan HTEA yöntemi (tekniği) uygulamasına başlamadan önce, analiz edilecek ürün veya sistem belirlenmeli ve uygulamanın nedenleri tanımlanmalıdır. Sonra sırasıyla, yöntemin uygulanmasını isteyen kişi(ler), analizi yapacak kişiler ve karar verecek kişi, çalışma sınırları ve ulaşılmak istenen rakamsal hedef başlangıçta açıkça tanımlanmalıdır. (Boran, 1996)

3.11. HTEA Takımını Oluşturma

HTEA bir takım çalışması olup ferdi olarak yapılamaz. Spesifik bir proje için oluşturulan ekip, şirketin HTEA Takımı gibi hizmet edemez. Her problemin kendine ayrı özellik taşımasına ve dolayısı ile HTEA Takımı kurulurken takımın, çapraz ve çok fonksiyonel ve çok disiplinli olmasına özen gösterilmelidir. (Keser, 1998)

Bir diğer özellik olarak işletmelerin tedarikçilerinden bir ilgili kişinin ve müşterilerin de gruba katılabileceği yukarıdaki özelliklere eklenebilir. Özellikle Tasarım HTEA uygulamasında, teknolojinin satın alındığı durumda satan işletmenin bu konuda

bilgili bir elemanının grupta yer alması çok olumlu sonuçlar verecektir. (Boran, 1996)

Başarılı takım aşağıda sıralanmış özelliklere sahiptir; (Cayman, 2002)

- Hedefe doğru direkt yönelme ve odaklanma,
- Kendi kimliklerini belirleme,
- Kullanılabilir ve ölçülebilir hedeflere sahip olma,
- Mükemmel sonuç için işbirliği yapma,
- Organizasyon yapısına sağlamlık getirme,
- Çapraz fonksiyona sahip olma,
- Kendilerine özgü yönetilme biçimleri ve takım kuralları yaratabilme,
- "Önce gelişim" her bir takım bireyinin bu amaçla yaşaması,
- Karşılaştıkları değişik kural ve pozisyonlara modifiye olma esnekliğine sahip olma.

HTEA Takımları oluşurken tek bir departmandan katılan personellerden kurulmamalıdır ve yanı sıra çalışılan konu ile ilgisi bulunmayan personelde davet edilmemelidir. Grup çalışması kurallarına riayet edilmeli ve katılımcı sayısı çok fazla olmamalıdır. (Akın, 1998) Çalışmada alınan kararlara onay veren (kabul eden) kişi sorunun ilgili olduğu bölüm şefi, işletme müdürü olabilir. Karar verici olarak tanımlanan bir kişi uygulanacak düzeltici önlemlerin sorumlularını ve uygulama sürelerini de belirlemesi istenen, karar verme yetkisine sahip, hiyerarşi olarak üst düzeyde biri olmalıdır. (Boran, 1996)

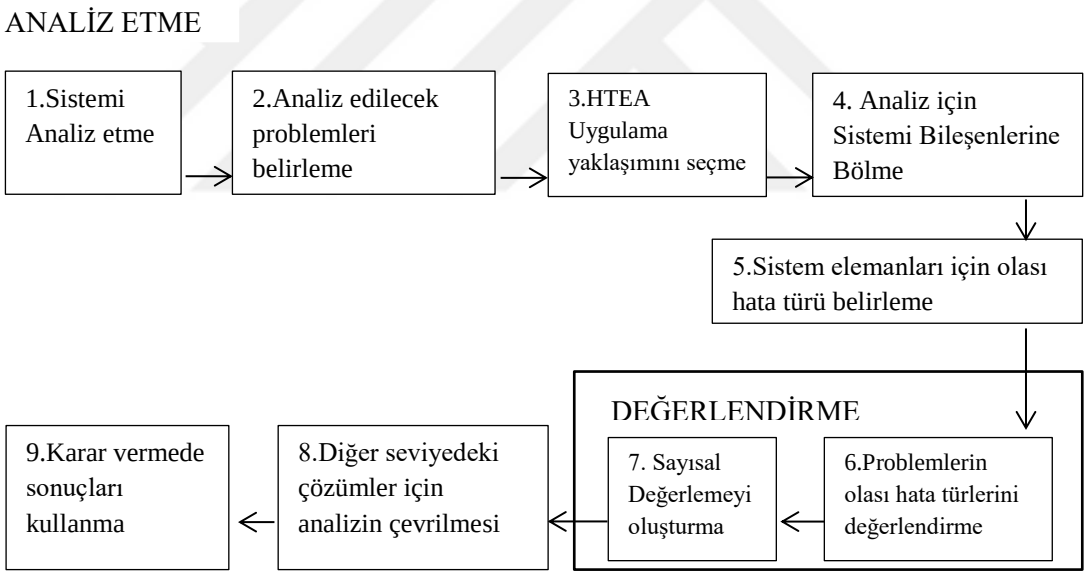
Tasarım ve Proses HTEA Takım üyeleri aşağıda sıralanmıştır; (Keser, 1998)

- Ürün / Hizmet Tasarımcısı, Ürün veya hizmet ile ilgili malzemelerin seçiminde karar veren, ürünün veya hizmetin bileşenlerini ve karakteristik özelliklerini tanımlayan takım üyesidir,
- Üretim Mühendisi veya Hizmet Operasyon Çalışanı, Proses hakkında uzman olup ürün veya hizmetin nasıl oluşturulacağına ve prosesin ne şekilde gerçekleştirileceği konusunda karar verebilen takım üyesidir,
- Kalite Yöneticisi, Ölçü aletleri, kontrol ve laboratuvar tekniklerinin yanı sıra organizasyonel beceriler konusunda deneyim sahibi ve ürün veya hizmet güvenilirliği ile kalite yönetim sistemi hakkında bilgi sahibi takım üyesidir,

- Pazarlama ve Satış Uzmanları, Ürün veya hizmetin kullanılabileceği yerler ve kullanma koşulları hakkında deneyime sahip olup benzer ürün ve müşteri talepleri/şikayetleri konusunda yeterli veriye sahip takım üyesidir,
- Satın alma Yetkilisi (Yan sanayi ve partner temsilcisi), yan sanayi veya hizmet desteği alınan ürün veya hizmet varsa bu konularda teknik bilgiye sahip takım üyesidir veya yan sanayi veya hizmet desteği alınan firmanın üyesi de olabilir,
- Olası Diğer Takım Üyeleri, servis yetkilisi, bakım uzmanı, planlama uzmanı, bilgi işlem uzmanı ve gereksinim duyulan uzman takım üyeleri.

3.12. HTEA Uygulama Süreci

Son kullanıcı olan müşterilere etki eden olası hata türlerini, ürün gerçekleştirme veya hizmet sunmaya yönelik çalışmalar içerisinde belirleyen ve risklerini değerlendiren sistematik yaklaşım HTEA uygulama süreci Şekil 3.12.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. HTEA Uygulama Süreci(RBDM,2000)

3.12.1. Analiz etme

3.12.1.1. Sistemin analizi ve uygulanacak yaklaşım seçimi

Sistemi analiz etme aşağıdaki maddeleri içerir; (RBDM, 2000)

- Tasarlanmış (Düşünülen) Fonksiyonlar,
- Çalışma Sınırları

HTEA tekniği, ürün veya sistemler hakkında ayrıntılı bilgiler ister. Sistemi tanımaya yönelik bu çalışmalar da ürün veya hizmet sistemlerinin ancak ayrıntılı analiz edilmeleri ile sağlanır (Sistem HTEA). Bu aşamada, ürün veya sistemin fonksiyonları, çalışma şekli ve üretim şekli belirlenir. Fonksiyonlar, ürün veya sistemlerin ne işe yaradıkları ya da var olma sebepleri ile tanımlanır. Kolaylık sağlamak amacıyla, bilgilerin gösteriminde diyagramlardan da yararlanılabilir. (Boran,1996)

Bir HTEA tekniğinin sistemi analizi sırasında bütün sistem geliştirme tekniklerinden ve bunlardan elde edilen bilgilerden yararlanılır. Aynı zamanda, HTEA ' dan elde edilen bilgiler bu tekniklerde kullanılabildiğinden bütünleşik HTEA sağlanmış olur. Test ve değerlendirme, kalite güvencesi, bütünleşik lojistik destek. sistem emniyeti, tasarım ve gelişme alanlarında yapılan çalışmaların her biri HTEA için önemli girdi kaynakları olacaktır. (Stamatis,1995)

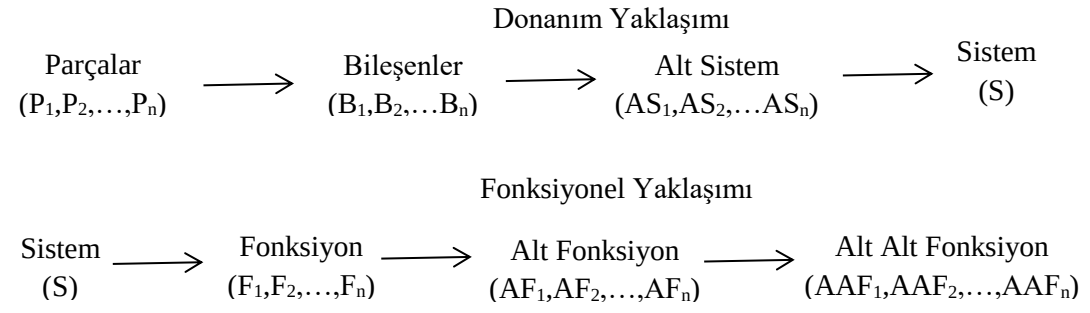
Analiz edilecek problemleri belirleme aşağıdaki maddeleri içerir; (RBDM,2000)

- Güvenlik Problemleri,
- Çevresel Olaylar,
- Ekonomik Etkiler.

HTEA uygulama yaklaşımını seçme aşağıdaki maddeleri içerir; (RBDM,2000)

- Donanım Yaklaşımı (aşağıdan yukarıya),
- Fonksiyonel Yaklaşım (yukarıdan aşağıya),
- İkisinin Birleşimi (melez yapı).

Bu yaklaşımlar şematik olarak Şekil 3.13.' te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Yaklaşımların Şematik Gösterimi (RBDM,2000)

3.12.1.2. Fonksiyonların belirlenmesi

Fonksiyonlar, tasarımın amacı ve/veya mühendislik gerekleridir. Bir ürün içerisindeki parçalar tarafından, teker teker veya grup olarak yerine getirilen herhangi bir eylemdir. Bir ürün veya prosesin çalışması ve müşteri beklentilerini karşılaması için yapması gerekenlerdir. (Duman, 2001) Bir ürün normal olarak birden fazla fonksiyona sahiptir. Fakat bu fonksiyonları ana fonksiyonlar ve yardımcı fonksiyonlar olarak ikiye ayırmak gerekir. (Keser, 1998)

Ana Fonksiyon: Bir ürünün var olmasının esas nedenlerini ortaya koyan gerçeklerdir. Ürünün kullanım anında verdiği hizmet olarak tarif edilebilir. Normal olarak bir ürün, kullanım anında yani "ondan faydalanıldığı süre" içinde görevlerini yerini getirir. Kullanılmadığı zamanlarda ise sadece yer kaplar. (TEMSA, 1998)

Fonksiyonların tanımında ürünün bakımı, onarımı, montajı, sökülmesi söz konusu edilmez. Sadece kullanım anında verdiği hizmetler o ürünün fonksiyonlarıdır. Bir ürünün birçok kullanım şekli olduğunda durumlarda da birden fazla fonksiyonu mevcut olabilir. Örneğin; bir elektrik devresinin kapalı olduğu andaki fonksiyonu, elektrik akımının geçmemesini sağlamak, açık olduğu andaki fonksiyonu ise elektrik akımının geçmesini sağlamaktır. (TEMSA, 1998)

Bir ürünün fonksiyonlarının tanımı, parçanın veya alt grubun tanımı ile aynı değildir. Bir ürünün alt gruplarının her biri ayrı fonksiyonları yerine getirirken, birleştiklerinde ana fonksiyonları yerine getirirler. (TEMSA, 1998)

Yardımcı Fonksiyon: Bu ürünün varlığı nedeniyle sağlayacağı diğer fonksiyonlardır. Önemsiz diye düşünülmemeli, aksine ürünün bu fonksiyonları da sağlamasının zorunlu olduğu unutulmamalıdır. (Keser, 1998) Bu fonksiyonlar ürünü geliştiren ve değerini artıran fonksiyonlardır. Teknik ve fonksiyonel gereklerden çıkarılabilir. Örneğin; hedef performans, çekicilik, vs. (Duman, 2001)

Fonksiyonların belirlenmesinde şu özellikler tasarımcı ve HTEA takımınca göz önünde bulundurulmalıdır: (Keser, 1998)

- Yönetmelikler
- Düzenlemeler
- Normlar

- Fiziksel Özellikler
- Ortam vs.

Fonksiyon tanımı "Bu parçanın ne yapması gerekir" sorusunun cevabı olmalıdır.

Fonksiyonlar:

- İsim/fiil/ölçülebilir formda yazılmalıdır.
- Ölçülebilirler, ilgili tüm sistem Tasarım Şartnamelerini içerirler:
  - Doğrulanabilirler, onaylanabilirler.
  - İlave sınırlamaları veya tasarım parametrelerini içerirler; güvenlik şartları servis edilebilirlik spekleri, özel durumlar, ağırlık, boyut gibi.
  - Geçerli standartları ve gerekleri içerirler.
- Tasarım amacı ya da mühendislik gerekleridir.
- Tüm müşteriler veya sistemler için, konuşulmuş veya konuşulmamış tüm istek, ihtiyaç ve gereksinimlerin temsilcileridir.

Tablo 3.2.'de çeşitli fonksiyon örnekleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Fonksiyon Örnekleri(Duman,2001)

Ölçülebilir	İsim	Fiil
Eylemin ölçüsü ile ilişkisini gösterir	Eylemin ne ile ilişkisi olduğunu gösterir	Eylemi, oluşu, varoluşu gösterir.
X amp	Akım	İletir
X cm^3/sn	Akışı	Kontrol eder
X litre	Yakıtı	Sızıntısız depolar
X kg-f	Kuvvete	Dayanır

Genellikle ürün fonksiyonları belirlenirken müşteri istek ve ihtiyaçlarını net olarak anlamak için öncelikle Kalite Fonksiyonu Açılımı (QFD) tekniği kullanılır. (Stamatis,1995)

Fonksiyonların belirlenmesinde kullanılan diğer bir teknik de fonksiyon ağacı analizidir. Bu analiz bir ürün veya prosesin, henüz konuşulmamış fakat beklenen, müşteri gereksinimlerinin karşılandığının garanti edilmesine yardımcı olur. Fonksiyon Ağacı, fonksiyonel detayların artan seviyelerine karşılık gelen hiyerarşik bir temel üzerine oluşturulur. Genellikle diyagram soldan sağa doğru gelişir ve geliştikçe detay seviyesi artar ve eyleme geçilebilir bir düzeye ulaşınca sona erer. (Duman,2001) Herhangi bir fonksiyon, çok genel veya çok ayrıntılı, bir önceki

fonksiyonu nasıl yerine getirilebileceğini tanımlamak için mevcuttur. Fonksiyon ağacında belirtilen bir fonksiyonun nasıl yerine getirileceğini tanımlayan fonksiyon, onun sağında yer alır.

Bir fonksiyon ağacı aşağıdaki adımlar izlenerek geliştirilebilir: (Duman, 2001)

- Fonksiyon tanımlamak için bir isim-fiil-ölçülebilir bileşimi kullanarak bir ürün veya prosesin tüm fonksiyonları (ana ve yardımcı) beyin fırtınası ile belirlenir.
- Birinci düzey fonksiyonlar belirlenir ve en sola yazılır.
- Her bir birinci düzey fonksiyon için; "Bu fonksiyona nasıl ulaşılır?" sorusu sorulur. Bu sorunun cevapları, birinci düzey fonksiyonun sağına yazılır.
- Ölçülebilir bir fonksiyon düzeyine ulaşılıncaya kadar üçüncü adım tekrarlanır.
- Her bir eyleme geçilebilir düzeydeki fonksiyonun ölçülebilir olduğundan emin olunmalıdır. Ölçülebilir düzeye ulaşılana kadar fonksiyonun alt seviyelerine inilir.
- Fonksiyon ağacının ölçülebilir düzeyinden itibaren doğrulanması için, sağdan sola doğru, "Bu fonksiyon niçin var?" sorusu sorulur. Sağdaki fonksiyon için sorulan bu sorunun cevabı, onun hemen solundaki fonksiyon olmalıdır.

Kritik Karakteristikler: Kritik karakteristikler genellikle tasarım HTEA ile birleştirilir çünkü donanımlar tasarım aşamasında ortaya çıkar. Donanımlar ortaya çıkana kadar kritik karakteristikler tanımlanamaz. Kritik karakteristik tanımlaması proseste, montajda ya da servis HTEA' da özel kontroller yapılmasını belirtir. Buradan kritik karakteristikler kontrol planlarına aktarılır. (Stamatis, 1995)

Kritik karakteristikler aşağıdakiler olduğu zaman tanımlanır: (Stamatis, 1995)

- Proses ihtiyaçları güvenliği etkileyebilir.
- Proses ihtiyaçları yasal düzenlemelere uyumu etkileyebilir.
- Proses ihtiyaçları özel operasyon ya da kontroller için gereklidir.

Hata türünün şiddet derecesi 9 veya 10 ise, orda bir kritik özellik vardı. Bir kritik özellik tespit edildiğinde Proses HTEA başlatılır. (Duman, 2001)

3.12.1.3. Olası hatalar

Sistem bileşenlerine ayrıldıktan sonra olası hata türlerinin tanımlanmalıdır. Hata türü, hatanın gözlenen tarzı (türü)dır. Hatanın oluşma şekli bir fonksiyona bağlı olduğunda, hata türü, bir sistemin fonksiyonlarını yerine getirememe durumu veya

anormal işleyişidir. Daha genel olarak. Hata türü yerine getirilememiş bir fonksiyon ve fonksiyonun yerine getirilememe şeklidir. (Boran, 1996) Bir ürün veya hizmet için, ,hangi durumda olursa olsun, tasarım veya proses yararlarını, performans gereksinmelerini ile müşteri ihtiyaçlarını sağlayamama hususu hata türü olarak tanımlanır. (Özay, 1999)

Hata türü, fiziksel özellikler ile tanımlanır. Olası hata türünü belirlerken, hatanın ortaya çıkabileceği fakat oluşmasının gerekmeyeceği kabulü yapılır. Olası hata türü, genellikle hatanın oluşma türü ve sistemin çalışmasındaki etkisinin tanımını içerir. (Boran, 1996)

Hata türlerini belirlerken aşağıdaki sorulara cevap aranmalıdır; (Stamatis, 1995)

- Tasarımla veya prosesle ilgili olası sorun nedir?
- Parçanın spesifikasyonları karşılayamadığı durumlar nelerdir?
- Öngörülen mühendislik özelliklerini hiç göz önüne almadan, müşterini itiraz edebileceği düşünülen herhangi bir unsur var mıdır?
- Bir sonraki veya daha sonraki operatör neyi kötü olarak değerlendirecektir?
- Son kullanıcı (müşteri) neyi kabul edilmez olarak tanımlayacaktır?

Analizcilerin olası hata türlerini belirlemede yararlanacakları bir yaklaşım, ürün veya sistemin performans, bütünlük, istenildiği zaman kullanıma hazır olma, güvenilirlik, dayanıklılık, faydalı ömür, estetik gibi özelliklerin birkaçına veya hepsine sahip olma durumu önceden belirlendiğinde bunun gerçekleşip gerçekleşmediğini belirlemek olabilir. Olması istenen ancak gerçekleşmeyen özellik hatayı gösterecektir(Boran,1996).

Hata türlerini, etkilerini ve sebeplerini belirlemek için aşağıdaki verilerden yararlanılabilir. (Stamatis, 1995)

- Müşteri şikâyet raporları,
- Test raporları, garanti verileri,
- Güvenilirlik analizi sonuçları,
- Benzer ürün ve sistem bilgileri.
- Benzer ürünler için daha önceden yapılmış HTEA çalışmaları sonuçları,
- Simülasyon çalışmaları sonuçları

Ortaya çıkabilecek olası hata türleri fonksiyonellikle ve donanımla ilgili olmak üzere iki şekilde belirlenebilir. Donanımla ilgili hata türüne örnek olarak şunlar verilebilir; (Breiing ve Kunz, 2002)

- Kırılma - Renk Uyumsuzluğu
- Deforme Olma - Aşınma
- Korozyona Uğrama - Delinme
- Gürültü - Titreme

Hata türlerini belirlerken, hata sebeplerinin listelenmesini takip eden düzeltici faaliyetleri muhakkak gerçekleştirmek gerekmektedir. Tecrübeler ile daha da ileriye doğru gitmek ve oluşma ihtimali az olan hataların oluşması sağlanabilir. Hata sebeplerinin doğruluğunu araştırma, sansür etme ve anında çözüm arama işlemleri yapılmayıp, hata türüne yol açabilecek bütün cisim ve temaslar ile ilgilenilmelidir. (Keser, 1998)

3.12.1.4. Olası hata etkileri

Hata etkisi, hata türü ile bağlantı içindedir. Etki, her bir hata şeklinden kaynaklanan, sistemin fonksiyonelliğinde meydana gelen değişimi göstermektedir. Muhtemel hata etkisi, hatanın oluşumu kabul gördüğünde, kullanıcının neyin farkında olacağı ile ilgilidir. Kısacası, hata ile karşılaşan kullanıcının tepkisini, yani olası bir hata ile karşılaşma durumunda meydana gelen tanımlar. Uygulama esnasında genel olarak kullanıcının son kullanıcı olarak seçildiği görülmektedir. Bunun sebebi de ürünün satın alınan miktarının, kullanacak kişinin memnunluk derecesine bağlı olmasıdır. Bununla birlikte parçanın bulunduğu grup, sistem, ürün, ara müşteri, yan sanayi, yasalara uygunluk, kullanıcı emniyeti üzerindeki sonuçlar yani etkiler de belirlenebilir(Boran, 1996). Sonuç olarak, bir hatanın etkisi, hata türünün, parçanın bulunduğu grup, müşteri, sistem, ve yasalar üzerinde yarattığı sonuçtur(Özay, 1999).

HTEA çalışmalarında, bir hata türünün bir etkisi olduğu varsayılırdı, oysaki bir hata türünün birden fazla etkisi olabildiği bileşke durumlarda mevcuttur(Kara-Zaitri, 1996)Bu durumlar Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

Olası hata etkisi örnekleri aşağıda sıralanmıştır; (Breiing ve Kunz, 2002)

- Gürültü

- Yanlış işlem
- Arızalanmaya yatkınlık
- Kesintili işlem
- Tekrar kullanılamama
- Tamir edilemeyen işlem
- Kazaya yatkınlık
- Müşteri memnuniyetsizliği, aşırı çaba isteme, kötü görünüş
- İmaj kaybı - Uyumsuzluk – Yaralanma veya ölüm

3.12.1.5. Olası Hata Nedenleri

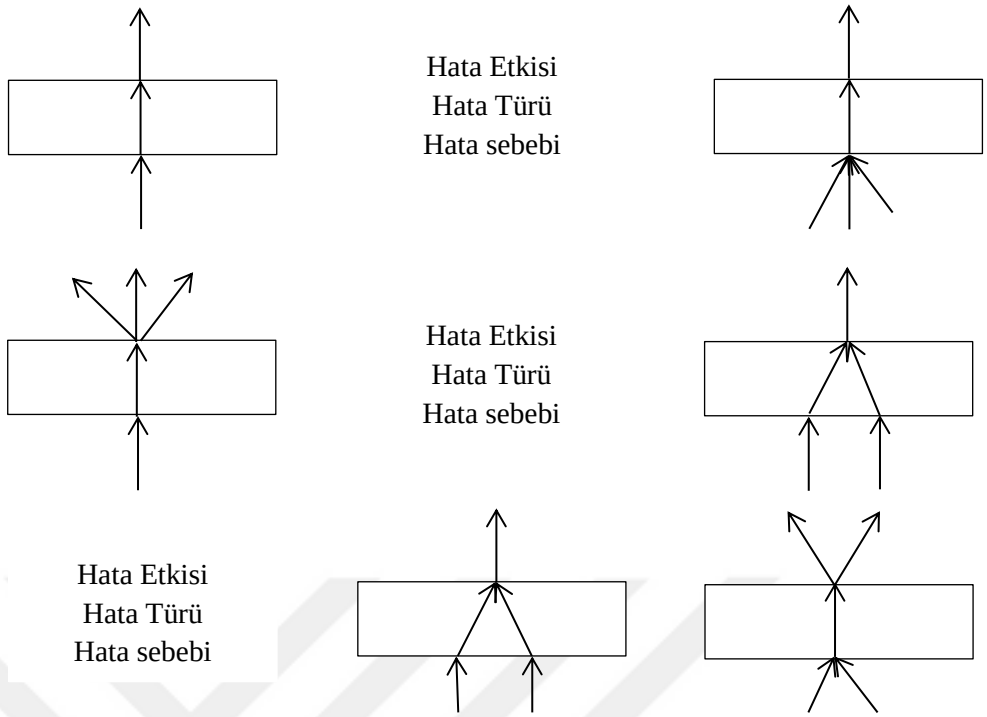
Olası hata türünün oluşmasında etkili olacak unsurlar, neden olarak tanımlanır. Hatanın nedeni, hatanın türünü oluşturabilecek ilk anormalliktir. Hata nedenleri tasarım esnasında sorunların oluşma gerekçelerini gösterir. Hata nedenlerini ortaya çıkarmak için, "Olası hata türünde sonuçlanabilir işlem değişkenleri nedenleri nelerdir?" sorusuna yanıt aranır. (Boran,1996)

Hata nedenlerinin belirlemesinde kullanılan en yaygın yöntem neden-sonuç (balık . kılçığı) diyagramıdır. 3M + 1İ (makina, malzeme, metot ve insan, bazen ölçme ve çevre de katılabilir) olarak tanımlanan hata kaynaklarına göre nedenler beyin fırtınası yoluyla belirlenir. Burada grup üyelerinin deneyimlerinden yararlanma söz konusudur(Atay,2002).

Hata nedenlerine örnek olarak şunlar verilebilir; (Breiing ve Kunz, 2002)

- Aşırı yüklenme - Uygun olmayan tasarım ömür kabulü
- Aşırı zorlanma - Uygun olmayan bakım talimatları
- Dengesizlik - Yanlış tanımlanmış malzeme kalınlıkları
- Kötü çevre koşulları - İş gücünün eğitim yetersizliği
- Yanlış tanımlamış malzeme - Makina ayarlama hatası

Hata türü, hata etkisi ve hata nedenleri birbirleriyle olan ilişkilerin belirlenmesi bir çok teknik yardımıyla sağlanmasına rağmen, müşteriye etki edebilme ihtimali olan bir hata türünün nedenini araştırırken bir çok verinin bir araya gelmesi beklenmemeli, sistem bir an önce analiz edilmelidir. Şekil 3.14.' de Hata nedeni—Hata türü—Hata etkisi aralarındaki ilişkiler gösterilmektedir. (Kara-Zaitri,1996) .

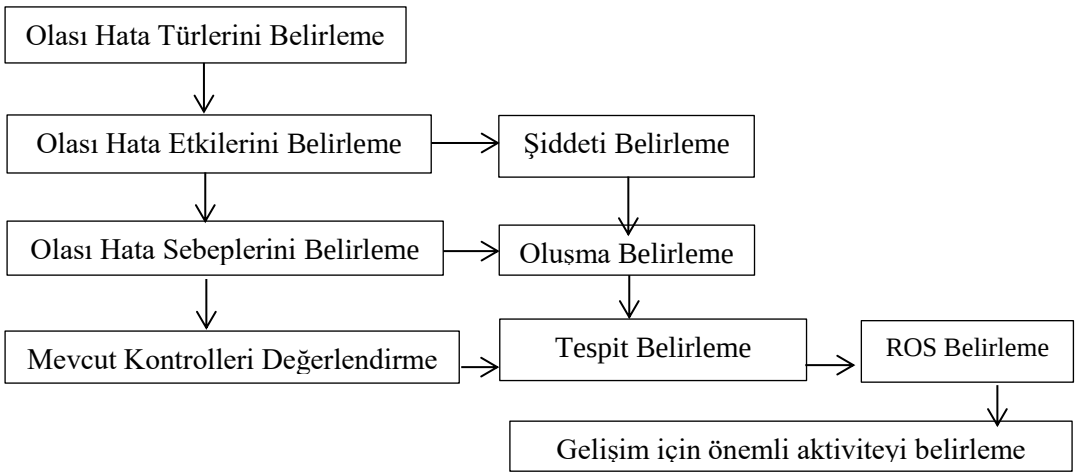


Şekil 3.14. Hata Nedeni-Hata Türü-Hata Etkileri İlişkileri(Kara-Zaitri,1996)

3.12.2. Değerlendirme

Değerlendirme aşamasının olası hataların kritikliklerine göre sıralama işlemi yapıldığı kritikliği belirleyen ölçüt, kritiklik sayısı veya onun eşdeğeri olan "Risk Öncelik Sayısı (RÖS)'' dır.

Şekil 3.15.' de HTEA uygulama sürecindeki analiz etme ve değerlendirme basamakları arasındaki ilişki gösterilmektedir. (Hammett, 1999)



Şekil 3.15. HTEA Uygulama Sürecindeki Analiz Etme İlişkisi (Hammett, 1999)

RÖS, risk faktörlerinin olasılık değerleri kullanılarak hesaplanır. Ancak uygulamada işlem kolaylığı sağlamak amacıyla risk durumu, olasılıksal bir değer yerine sayısal büyüklük olarak ifade edilir. Risk öncelik sayısı adı verilen bu sayı, hata oluşma ve tespit edilebilirlik risk faktörlerinin olasılık ile ve ağırlık risk faktörünün sözel olarak tanımlanan değerlerine belirli aralıkta yer alan sayılar atanıp matematiksel işlem uygulanması sonucu bulunur. Risk öncelik sayısının bir değeri veya anlamı yoktur, sadece hataların kritiklik yönünden göreceli olarak karşılaştırılmasını ve sıralanmasını sağlar.(Atay, 2002)

Önceliğin belirlenmesi metodun en önemli noktası olup, bunu sağlayan üç kriter şunlardır;(Akın, 1998)

- Oluşma, oluşma ve hatanın frekansıdır,
- Şiddet, hatanın ciddiyeti, ağırlığı ve etki gücüdür,
- Tespit Edilebilirlik, müşteriye ulaşmadan önce fark edilebilirliktir.

3.12.2.1. Oluşma (O)

Hatanın oluşma sıklığını gösterir ve her bir olası hata türünün gerçekleşmesi olasılığı ile ilgilidir. Oluşma olasılık değerini belirlemek için iki farklı yaklaşım vardır. Birincisi, bir hata türü veya nedeni için oluşma olasılık değerini belirlemektedir. Diğerinde ise olasılık değeri hata nedeni ile onun sonucunda çıkan hata türü ilişkilendirilmesi ile bulunur. Neden oluşursa, hata türünün de oluşacağı alınır. (Boran, 1996)

Bir diğer yöntemde HTEA Takımınca olasılıkların tahmin edilmesidir. Bu tahminler sırasında, hatanın ve sebebin ürün müşteriye ulaşmadan çıkmamış olacağı kabul edilir. Derecelendirme 1 ile 10 arasında yapılmaktadır. (Usuğ, 2002)

Oluşma ürünün faydalı ömrü boyunca belirlenen sebeplerle belirlenen hataların oluşmasının sıklığı ya da kümülatif toplamıdır. Her 100 ya da 1000 parça için Kümülatif Hataların Toplamları (CNF) güvenilirlik analizleri kullanarak hesaplanır. (Stamatis, 1995) CNF'ler belirtilen sebeple meydana gelebilecek olan tasarım hatalarının her 100 ya da 1000 parçanın kaçından meydana gelebileceğini gösteren olasılıklardır. Oluşma puanlandırması ve CNF' ler Tablo 3.3.' de anlatılmıştır.

Tablo 3.3. Oluşma Puanlandırma Rehberi(Stamatis,1995)

Oluşma	Oluşma Değeri	Kriter	CNF/1000
Neredeyse imkansız	1	Geçmiş herhangi bir hata göstermiyor	<.00058
Uzak	2	Seyrek hata sayısı	.0068
Çok az	3	Çok az hata sayısı	.0063
Az	4	Az hata sayısı	.46
Düşük	5	Ara sıra hata oluşur	2.7
Orta	6	Orta hata sayısı	12.4
Kısmen yüksek	7	Kısmen yüksek hata sayısı	46
Yüksek	8	Yüksek hata sayısı	134
Çok yüksek	9	Çok yüksek hata sayısı	316
Neredeyse kesin	10	Geçmiş benzer tasarım hatalarından çok sayıda gösteriyor	>316

3.12.2.2. Şiddet (S)

Şiddet ile müşteriye yansıyan olası hata sonuçlarının düzeyi değerlendirilir. Tablo 3.4. te hatanın etkisinin şiddetini puanlandırmak için bir rehber verilmiştir.

Tablo 3.4. Şiddet Puanlandırma Rehberi (Stamatis, 1995)

Etki	Şiddet Değeri	Kriter
Yok	1	Etki yok
Çok az	2	Müşteri kızgın değil. Ürün performansı üzerine çok az etki var. Hayati olmayan hata bazen fark edilir.
Az	3	Müşteri az kızgın. Ürün performansı üzerine az etki var. Hayati olmayan hata sıklıkla fark edilir.
Minör	4	Müşteri minör sıkıntıda. Ürün performansı üzerine minör etki var. Hata onarım gerektirmez. Hayati olmayan hata sürekli fark edilir.
Orta	5	Müşteri bazen memnun değil. Ürün performansı üzerine orta düzeyde etki var. Hayati olmayan hata onarım gerektirir.
Belirgin	6	Müşteri rahatsız. Ürün performansı küçük düşürücü fakat güvenli çalışıyor. Hayati önemi olmayan parçalar çalışmıyor.
Majör	7	Müşteri memnun değil. Ürün performansı ciddi düzeyde etkilenmiş fakat güvenli ve işlevsel. Alt sistem çalışmıyor.
Aşırı	8	Müşteri hiç memnun değil. Ürün çalışmıyor fakat güvenli. Sistem çalışmıyor.
Ciddi	9	Potansiyel tehlikeli etki. Aksilik olmadan ürünü durdurmak mümkün. Zamandan bağımsız hata. Yasal düzenlemelere uygunluk tehlikede.
Tehlikeli	10	Tehlikeli etki. Güvenlikle ilgili ani hatalar. Yasal düzenlemelerle uyum yok.

3.12.2.3. Tespit (T)

Olası hatanın, son müşterinin kullanımı esnasında ortaya çıkacağı varsayıldığından, öngörülen tespit önlemlerinden geçmiş olması gerekir. Bu nedenle, tespit ile ilgili olasılık değeri, ortaya çıktığı varsayılan hata nedeninin ya da şeklinin müşteriye ulaşabilme olasılığı olarak tanımlanır. Bazı işletmelerin bu olasılık değerini, hatanın müşteriye ulaşmama olasılığı olarak aldığı görülmektedir. Olasılık değerleri, analiz edilen birimlerin benzerlerinin geçmiş dönem verilerinden, ürün iç denetlemelerinden bulunabilir. Olasılık durumu kestirilemediği durumlarda ona bir değer verebilmek için grup üyelerinin deneyimlerine başvurulur. (Boran, 1996)
Derecelendirme (puanlama),hata oluştu düşüncesiyle hareket edilerek, mevcut kontrol olanaklarıyla hata türüne sahip parçanın sevkini önleme olanağına göre belirlenir. Sonuç olarak, ürün veya hizmetin son kullanıcıya ulaşmadan oluşum sürecinde tespit edilebilme olanağı puanlama sistemine yansıtılmıştır. (Akın, 1998)
Tablo 3.5' tespit puanlarının değerlendirilmesi için bir rehber verilmiştir.

Tablo 3.5. Tespit Puanlandırma Rehberi (Stamatis, 1995)

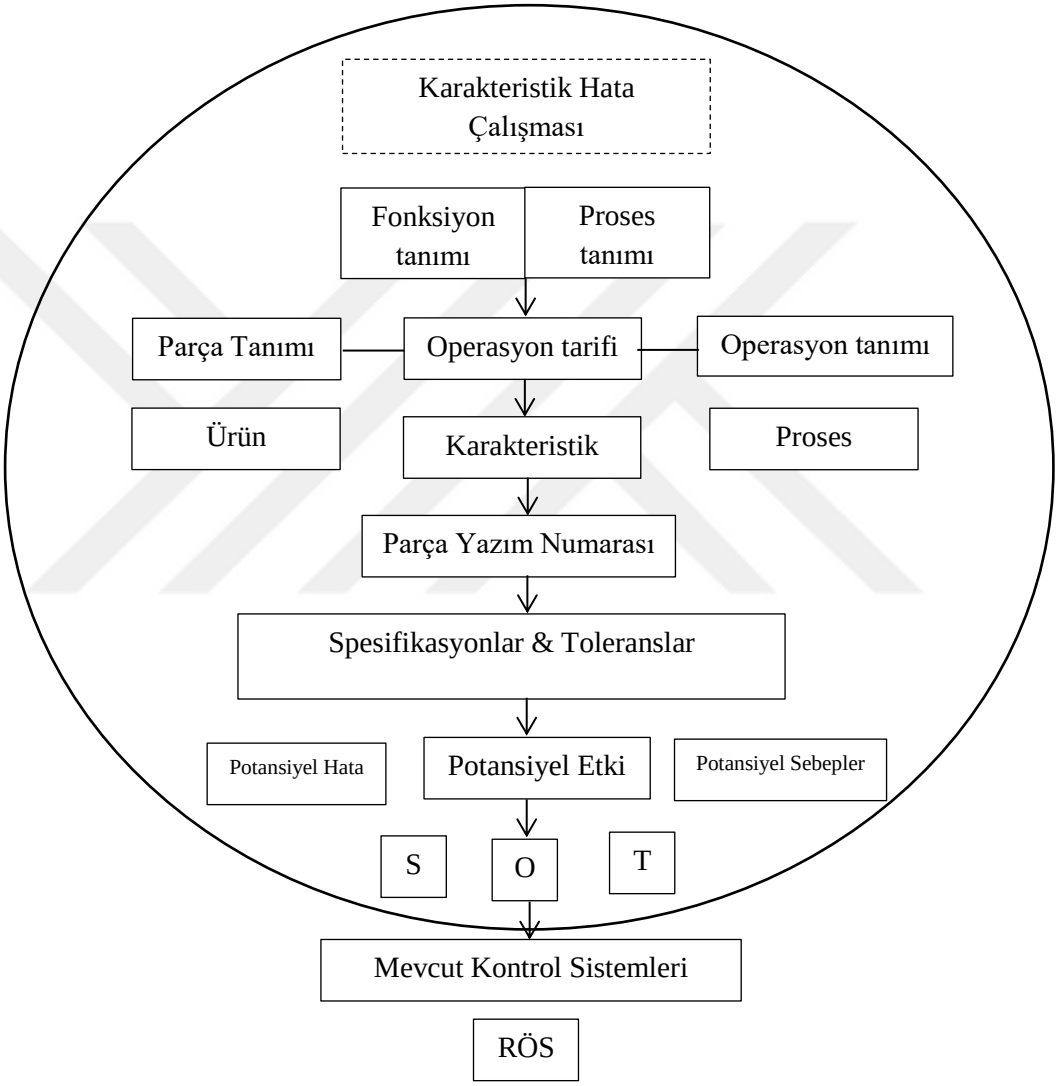
Tespit	Tespit Değeri	Kriter
Neredeyse Kesin	1	Uygulanabilen her kategoride en yüksek etkinliğe sahip
Çok yüksek	2	Çok yüksek etkinliğe sahip
Yüksek	3	Yüksek etkinliğe sahip
Kısmen yüksek	4	Kısmen yüksek etkinliğe sahip
Orta	5	Orta düzeyde etkinliğe sahip
Düşük	6	Düşük düzeyde etkinliğe sahip
Az	7	Az etkinliğe sahip
Çok az	8	Her kategoride en az düzeyde etkinliğe sahip
Uzak	9	Kanıtlanmamış, güvenilmez ya da etkinlik bilinmiyor
Nerdeyse imkânsız	10	Hiç bir tasarım tekniği bilinmiyor ya da uygulanmıyor ya da hiçbiri planlanmamış.

3.12.2.4. Risk öncelik sayısı (RÖS)

Risk Öncelik Sayısı (RÖS), kritiklik sayısı göstergesidir. RÖS her bir hata türü veya nedeni için "şiddet", "oluşma" ve "tespit" gibi üç risk faktörü esas alınarak belirlenen sayısal değerdir. RÖS değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılıksal olarak

tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında atanan değerleri alınır. RÖS ile her bir hata türü (nedeni) için riskler tanımlandığından en büyük RÖS'ye sahip olandan başlayarak uzun dönemde ortadan kaldırılması kısa dönemde en aza indirilmesi için alınacak düzeltici önlemler belirlenir. (Boran, 1996)

Şekil 3.16.'da RÖS'ün hesaplama süreci gösterilmektedir.



Şekil 3.16. RÖS Hesaplaması(Werwega,2002)

RÖS değerlerin bulunmasında yer alan üç faktörün (Şiddet, Oluşma, Tespit) değerlerinin analizcilerin kişisel yargılarına göre belirlenmesi, risk düzeyine göre önceliklerin belirlenmesinde yeterlidir. Ancak değerlendirmelerin kişi yargıları esas alınarak yapıldığı raporda belirtilmelidir. Kişi deneyim ve yargılarına göre değer

ataması yapıldığında aynı düzeyde değerlendirme yapabilmek için tüm değer atama işlemleri .belirli bir zaman dili içinde tamamlanmalıdır. (Boran, 1996)

Risk Öncelik Sayısı (RÖS), Oluşma(O), Şiddet(S) ve Tespit(T) değerlerine iki farklı matematiksel işlem uygulanması ile Denklem (3.1) ve (3.2) deki gibi hesaplanır;(Usuğ, 2002)

RÖS = O x S x T (Çarpma işlemi ile) (3.1)

RÖS = O + S + T (Toplama işlemi ile) (3.2)

Ancak uygulamada yaygın olarak kullanılan yaklaşım risk faktörleri olan oluşma, şiddet, ve tespit değerleri ile çarpma işlemi yardımıyla RÖS'yi hesaplamaktır.

Bu katsayı, hataların önemini ve düzeltici önemlerin önceliğini belirlediğinden dolayı katsayının büyük hesaplandığında iyileştirme faaliyetleri bir an önce başlatılmalıdır. Analizi yapılan ürün veya sistemin öngörülen kalitesi hakkında genel bir fikir edinmek için ROS' lerden yararlanılır. Ayrıca gerçekleştirecek iyileştirme çalışmalarının izlenmesi de kolaylaşır(Boran, 1996).

Küçük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılan risk esas alındığında, RÖS'lerin bir niteliksel değerlendirmesi şu şekilde yapılabilir(Yılmaz, 1997);

- Riskin küçük olduğu durumda düzeltici faaliyete gerek yoktur,
- Risk büyüklüğü orta olduğu durumda, bazı düzeltici önlemlerin alınması gerekebilir,
- Riski yüksek olduğu durumda, düzeltici önlemler alınmalıdır,
- Riskin çok yüksek olduğu durumda, mutlaka düzeltici önlemler alınmalıdır. Gerekirse ürün veya sistem tasarımı, proses üzerinde değişiklikler yapılmalıdır.

RÖS değerlerine göre düzeltici önlem alma kararları ise: (Usuğ, 2002)

- RÖS < 40 ise önlem almaya gerek yoktur,
- $40 \leq$ RÖS ≤ 100 önlem alınmasında fayda vardır,
- RÖS > 100 ise mutlaka önlem alınması gerekir.

Aşağıda Tablo 3.6.'daki örnekte bazı uç noktalar ele alınarak verilen kararlar gösterilmiştir; (Stamatis, 1995)

Tablo 3.6. Uç Noktalar(Stamatis,1995)

Oluşma	Şiddet	Tespit		
1	1	1	İdeal durum (hedef)	Faaliyet gereksiz
1	1	10	Durum hâkimiyeti	Faaliyet gereksiz
1	10	1	Hatalar kullanıcıya ulaşmıyor	Faaliyet gereksiz
1	10	10	Hatalar müşteriye ulaşmıyor	Önlem alınmalı
10	1	1	Sık hatalar saptanıyor, maliyet yüksek	Önlem alınmalı
10	1	10	Sık hatalar müşteriye ulaşıyor	Önlem alınmalı
10	10	1	Çok ağır ve sık hatalar, müşteriye ulaşmıyor	Önlem alınmalı
10	10	10	Çok büyük problem	Acil Önlem

Aynı ROS değerine sahip iki veya daha fazla hata varsa, öncelikle ağırlığı ve sonrada tespit değeri yüksek olan hata ele alınmalıdır. Ağırlığı yüksek olan hatalar önceliklidir çünkü bu değer hatanın etkisini göstermektedir. Tespit oluşma değerinden daha önemlidir. Burada söz konusu olan hatanın müşteriye ulaşmasıdır. Müşteriye ulaşan hatalara, sık oluşan hatalardan daha öncelikli yaklaşılmalıdır. (Boran, 1996)

3.12.3. Sonuçların değerIendirilmesi

Analiz ve değerlendirme sonuçları belirlendikten sonra bilgiler HTEA Formuna aktarılır.

Şekil 3.17.' de HTEA Formu gösterilmiştir.

HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ
HTEA

Sistem ..... HTEA No .....
Alt Sistem ..... HTEA Tarihi .....
Parça ..... Tasarım Sorumluluğu ..... Hazırlayan .....
Parça No Hedef Tarih ..... Sayfa .....
Anahtar Takım .....

Tasarım Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkisi	Kritik Karakter	Şiddet	Hatanın Potansiyel Sebebi	oluşma	Tespit Yöntemi	Tespit	RÖS	Önerilen Faaliyet	Sorumlu ve Tamamlanma Tarihi	Aksiyon Sonuçları				
												Alınan Önlem	Şiddet	Olasılık	Tespit	RÖS

ONAYLAYAN

Şekil 3.17. HTEA Formu(FORD,1995)

3.12.3.1. Düzeltici önlemler

Düzeltici önlemler, olası hata şekillerini veya nedenlerini ortadan kaldırmak veya olumsuz etkilerini minimize edilmesi için tasarım, üretim süreci, malzeme veya üretim yönetimi gibi çeşitli unsurlarda yapılacak değişikliklerdir. Düzeltici önlemleri ile RÖS değerleri aşağıya çekilmeye çalışılır. RÖS değerlerinin küçültülmesi, ağırlık, tespit, oluşma gibi risk faktörlerine atanan değerlerin küçültülmesiyle gerçekleşir(Boran, 1996).

Risk azaltmak için bütün kararların burada alınması gerekmektedir. Sistemin analiz kademelerine inilerek, HTEA analizi ile ilgili kavramların tamamı her birim için özelleştirilmelidir(Keyserling, 2000). RÖS değerini en küçükleme çalışmalarında, aşırı çabalar, aşırı maliyetler getireceğinden maliyet hedefi göz önünde bulundurulmalıdır.

Düzeltici faaliyet çalışmaları sonrasında ROS değerleri aynı kriterlere göre baştan hesaplanmalı ve minimuma çekilmeye çalışılmalıdır. HTEA risk değerlendirmesini etkileyen tipik örnek düzeltici faaliyet Tablo 3.7.' da verilmiştir.

Tablo 3.7. Tasarım HTEA Düzeltici Faaliyetleri(Stamatis,1995)

Düzeltici Faaliyet	Oluşma	Şiddet	Tespit
Ürünün yeniden tasarımı	E	E	E
Mevcut kontrollerin geliştirilmesi	H	H	E
Ürün malzemelerinin değiştirilmesi	E	H	E
Uygulamayı değiştirme	E	E	E
Konu ile ilgili çevre koşullarım değiştirme	E	E	E
Güvenilirlik problemlerini geliştirme	E	H	E
HTEA programı uygulama	H	H	E
IPK programları uygulama	E	E	E
Kalite planı geliştirme	H	H	H

3.12.3.2. İzleme

HTEA tekniğinin bu adımı, öngörülen düzeltici önlemlerin, yeterli etkinlikte uygulanmaya alınıp alınmadıklarının doğrulanması ve yeni sonuçların incelenmesi ve değerlendirilmesi aşamasıdır. Düzeltici önlemlerin devreye alınması açısından

büyük önem taşır. Bu aşamada kritik RÖS değerleri ortadan kaldırıncaya kadar çözümler incelenir ve değerlendirilir(Usuğ, 2002).

3.12.3.3. Doğrulama

Her şey yolunda gidiyor diyebilmek için gerçekleştirilmesi gereken analizin en son aşamasıdır. Doğrulamada amaç, düzeltici önlemlerin uygulandığım doğrulamak ve yeni oluşan hataları belirlemektir. Doğrulamada amaç, Ürünün üretimine geçilmeden önce düzeltici önlemlerin uygulanmasının doğrulanması ve sistemin, zaman içinde değişme uğramadığının doğrulanmasıdır. Ayrıca uygulamaya alman önlemlerin, öngörülen önlemler ile uyum gösterip göstermediklerinin doğrulaması da yapılabilir. (Yılmaz, 1997)

4. UYGULAMA

HTEA ile ilgili uygulama çalışması bakır profil üretimi yapan bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Ele alınan problemin analizi ve çözümü için HTEA'dan ve kalite araçlarından yararlanılmıştır.

4.1. Firma Tanıtımı

1970 yıllında bir şahıs işletmesi olarak anılan şirket, sadece mutfak eşyaları için gerekli bakır levhaları üretmekteydi. 1977 yılında satın alınan ekstrüzyon pres ile, elektrolitik lama imalatına geçmiştir.

1980'li yılların sonuna doğru, piyasadaki boşluğu doldurabilmek amacı ile bakır boru imalatına başlayan firma 1998 yılında Elektroliz tesisini de devreye alarak, bakır katot ihtiyacını da kendi sağlamaya başlamıştır.

Yeni Boru Tesisi artan boru talebini karşılamak amacıyla 2012 yılı Mart ayında Samsun Organize Sanayi Bölgesinde faaliyete başlamıştır. Fabrika, dünya kalitesinde üretim yapabilecek olup, tamamen yeni teknolojiyle donatılmıştır.

Kuruluşundan bu yana, Türkiye'deki sektörel gelişime öncülük eden firmamızın ürettiği mamulleri, İstanbul, Ankara ve İzmir illerindeki kendi bünyesine bağlı şubeleriyle, pazarlama faaliyetlerine devam etmektedir.

Şirket 1970'li yıllarda sadece mutfak eşyaları imalatı için gerekli bakır levhaları üretmekteydi. 1977 yılında satın alınan ekstrüzyon pres ile elektrolitik bakır lama imalatına geçmiştir. 1980'li yılların sonuna doğru, bakır boru imalatına başlayan şirket 1998 yılında elektroliz tesisini de devreye almıştır. Firmanın Ürün yelpazesi;

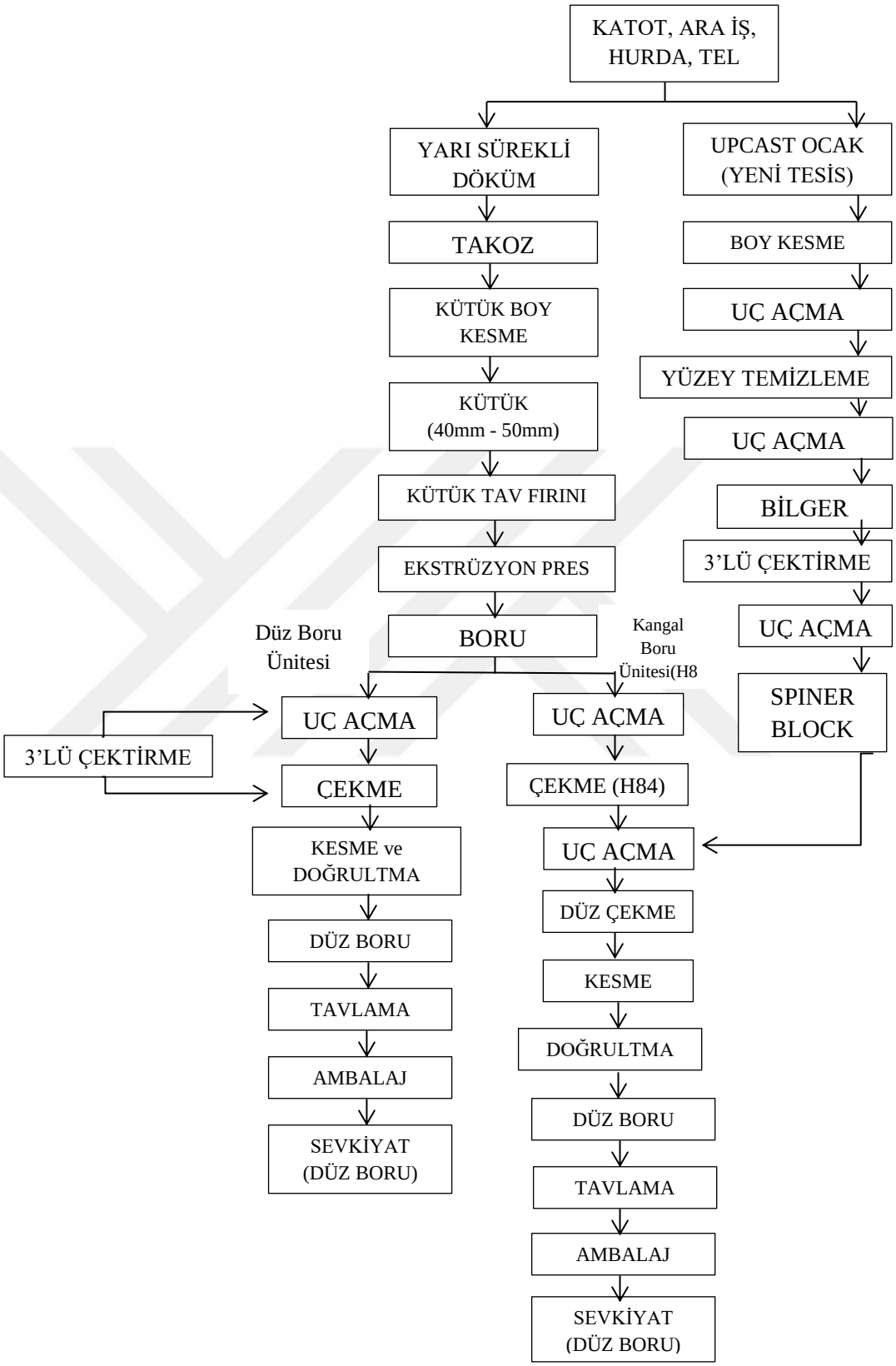
- Düz Boru
- PCC Kangal Boru
- LWC Kangal Boru
- Düz Profil Boru

- Kangal Profil Boru
- Düz Lama
- Rulo Lama
- Özel Profil Lama
- Yuvarlak Levha
- Kare, Dikdörtgen Levha
- Bant, çubuk
- Yassı-Rulo-Ötgülü Tel
- Katot, Biyet

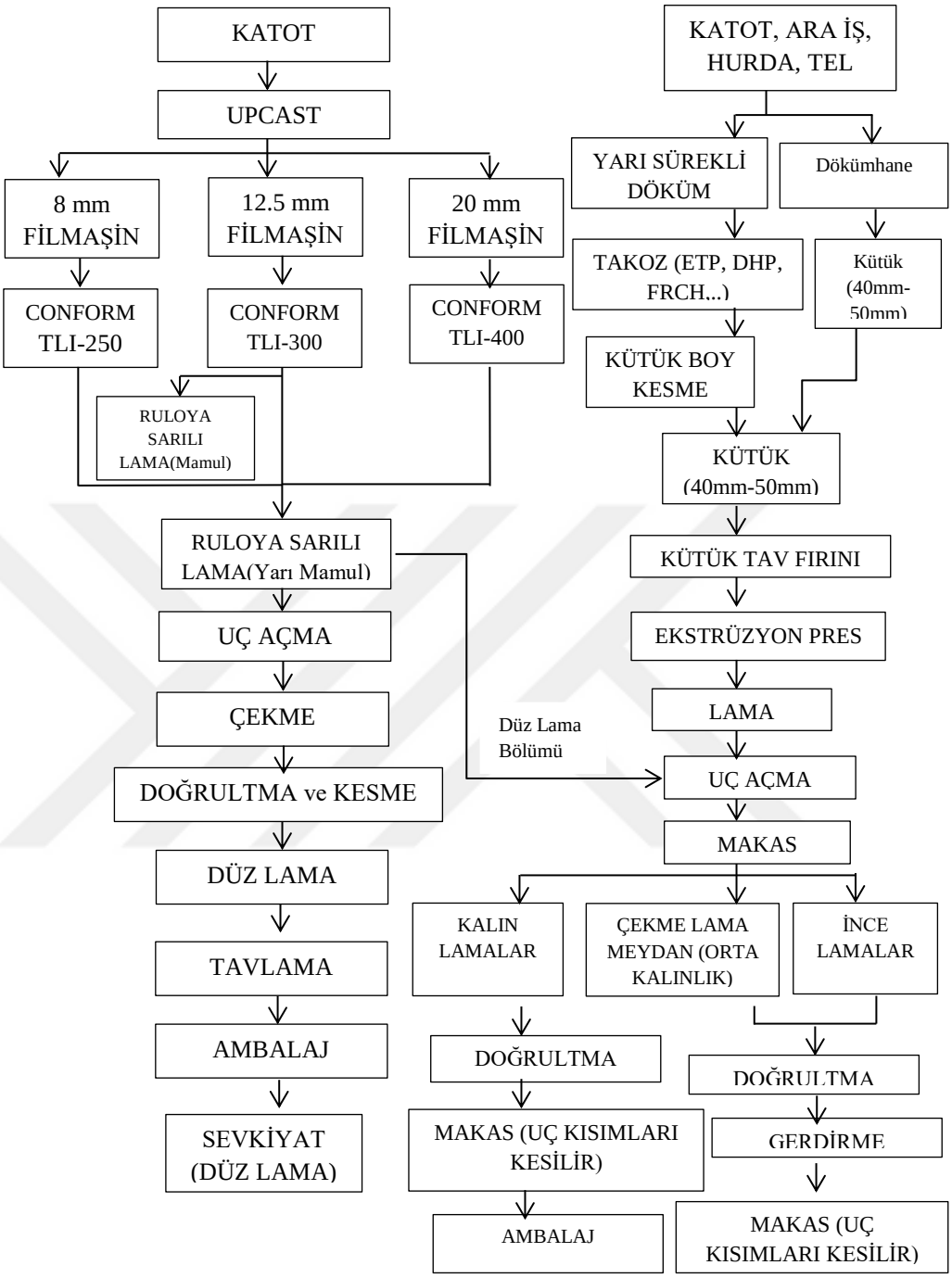
şeklindedir. Aşağıda firmanın üretimini yaptığı ürünlerin akış şemaları yer almaktadır.

4.2. Üretim Sürecine Yönelik Akış Şeması

Üretim süreci; Tedarikçiden alınan hammaddenin, kalite kontrol biriminde kontrol edildikten sonra üretim planlamanın da onayıyla satın alması gerçekleştirilir. Hammaddenin işlenmesi iki şekilde gerçekleştirilir. Birincisi Upcast ocakları tarafından direk katot atılarak çubuk elde edilir, ikincisi ise indüksiyon dökümde uygun karışım haline getirilir. İstenen alaşım elde edildikten sonra soğuması için bekletilir ve sonrasında testere yardımıyla 40-50 cm olacak şekilde kesilir. Kesilen bu parçalar yarı mamul bekleme alanına alınarak tarih ve kimyasal özellikleri(etp, dhp,dlp frch…) yazılır. Daha sonra kesilen bu takozlar vinç yardımıyla şarjöre yüklenir ve ekstrüzyon pres alanına forklift yardımıyla götürülür. Takoz tavlama fırınına sürülür ve üç aşamada 900 derece ye kadar ısıtılır. İstenen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra takozlar pres makinasına uygun kalıp takılmasının ardından yerleştirilir ve makinede lama, çubuk yada boru şekli verilir. Ardından personel tarafından bu parçalar birleştirilir ve vinç yardımıyla bu bölgeden alınır ve uç açma işlemi için istiflenir. İstiflenen mamuller birer birer alınarak uç açma işlemi gerçekleştirilir. Sonrasında fazla parçalar makasla kesilir ve çekme işlemi gerçekleştirilir. Bir sonraki aşamada el ile doğrultma işlemi yapılır. Müşterinin isteğine göre tavlama işlemi gerçekleştirilir ve kalite kontrol ekibi tarafından kontrol edildikten sonra paketlenir ve sevkiyata hazır hale getirilir. Akış şemaları Şekil 4.1. ve Şekil.4.2. de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Bakır Çubuk İş Akış Şeması



Şekil 4.2. Düz Lama İş Akış Şeması

4.3. İncelenen Hata Türü

Firmada yapılan incelemeler sonucunda firmanın düşük verim almasına neden olan bir sorun üzerinde çalışılmıştır. Bu problemde; Sürecin başlangıç olan döküm yapılıp takozlar halinde kesildikten sonra, istenen şeklin bu takoza verilmesi için ekstrüzyon prese gönderilmesi aşamasında, müşterinin talep ettiği ürünün kimyasal özelliği

preste ve dökümde aynı olmaması ve bundan dolayı müşteri siparişine uygun ürün üretilmemesi ve müşteriye istenilen miktarda bakırı tekrar üretebilmek için yeniden işleme maliyetlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

4.4. Probleme Yönelik Kalite Araçlarının Uygulanması

İncelenen problemin firma açısından ne sıklıkla meydana geldiğinin ortaya koyulabilmesi için firmada yapılmış olan 1500 adet döküm incelenerek çetele tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 4.1. Problemle ilgili Çetele Tablosu

Döküm Sayısı	Uygun Ürün	Hatalı Ürün	Başlanmamış Ürün	Bitmemiş Ürün	Uygun Olmayan Ürün Toplamı
1-100	88	5	5	2	12
101-200	85	10	4	1	15
201-300	47	23	8	22	53
301-400	63	20	15	2	37
401-500	86	10	2	2	14
501-600	68	12	15	5	32
601-700	71	17	9	3	29
701-800	81	2	10	7	19
801-900	57	11	19	13	43
901-1000	69	12	14	5	31
1001-1100	73	7	17	3	27
1101-1200	70	14	13	3	30
1201-1300	83	9	2	6	17
1301-1400	68	8	19	5	32
1401-1500	96	0	4	0	4

Tablodaki değerler incelenecek olursa; gözlemlenen 1500 dökümden 395 tanesi müşteri isteğine uygun olarak işlenmemiştir. Buda üretilen ürünlerin %26 sının hatalı olduğunu göstermektedir. Tablodaki hatalı ürün sütununda müşterinin istediği iletkenlikte ve miktarda ürün teslim edilememesinden kaynaklanan hatalar sıralanmaktadır. Başlamamış üründe ise müşterinin sipariş etmesine rağmen üretimine başlanmamış ürünlerden kaynaklanan yok satma maliyetlerinin oluştuğu hatalar sıralanmaktadır. Bitmemiş ürün sütununda ise üretimine başlanmış fakat dökümden çıkmasından ürünün paketlemesine kadar herhangi bir aşamada karşılaşılan bir nedenden dolayı üretiminin durdurulduğu ürünlerin hataları sıralanmaktadır.

4.5. Probleme Yönelik Hata Türü

İncelenen süreçte ürün akışında oluşan problemler ortaya çıktığından, incelediğimiz hata türü ve etkileri analizi türü süreç hata türü ve etkileri analizidir. Süreç HTEA olmasının sebebine ürünün işlenmesinin en başından bakacak olursak; dökümün yapılıp bakırın takoz haline getirildikten sonra testere ile kesilen takozlara döküm numarasının yazılmaması, yada geç yazılmasından dolayı karışıklık olması ve daha sonra şarjörlere yüklenirken gerekli kontrollerin yapılmayarak ekstrüzyon pres alanında karışıklıkların olması bu hata türünün nedenleri arasındadır. Bu karışıklık sonucunda ekstrüzyon presten talep edilen ürün türü karşılanamamaktadır.

4.6. Hata Nedenlerinin Tespiti

Probleme yönelik hata türünün nedenlerinin tespit edilmesinde kalite araçları kullanılmıştır. Kullanılan kalite araçları Neden-Sonuç diyagramı ve 5N analizidir.

4.6.1. 5N Analizi

Firmada yapılan bu çalışmada ele alınan soruna 5N analizi gereği, arka arkaya neden soruları sorularak problemin kök nedenine inilmeye çalışılmıştır.

1. Müşteriye neden uygun miktarda ve türde ürün üretilememektedir?

Çünkü ekstrüzyon presin talep ettiği takozlar ile dökümün gönderdiği takozlar değişkenlik göstermektedir.

2. Neden değişkenlik göstermektedir?

Çünkü dökümden ekstrüzyona gönderilmek üzere çıkan takozlara kesimden sonra bazen kod numarası yazılmamaktadır.

3. Neden kod numarası yazılmamaktadır?

İşçiler bu işleme yeteri kadar önem vermemektedir.

4. Neden önem vermemektedirler?

Çünkü talimatlar yetersizdir ve vardiya amirleri arasında irtibatsızlık bulunmaktadır.

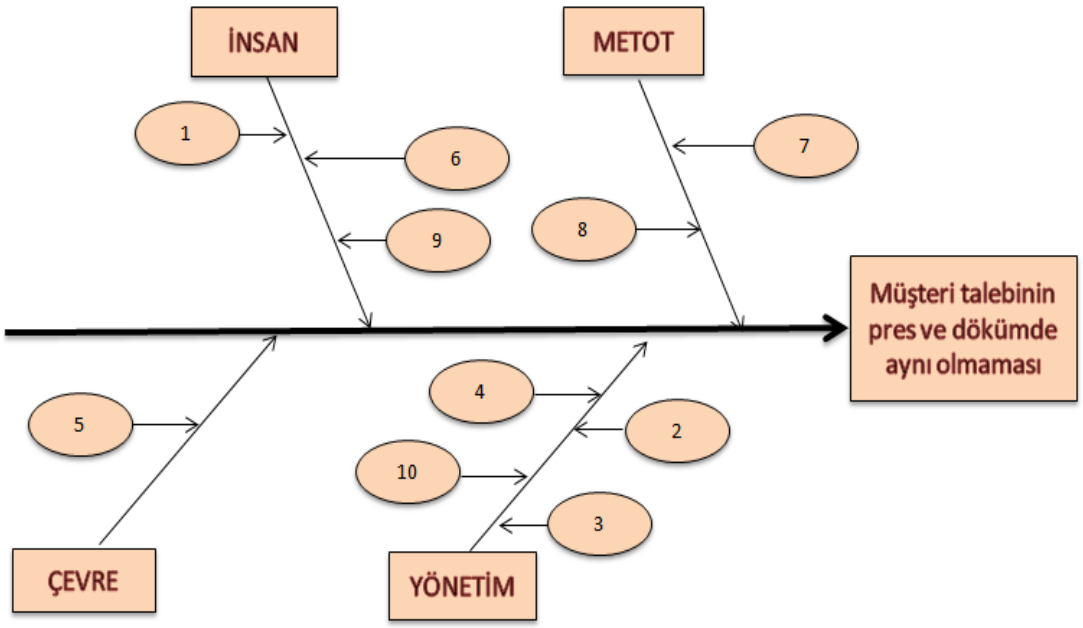
5. Neden irtibatsızlık oluşmaktadır?

Çünkü kalite kontrol departmanı düzenli kontrolleri gerçekleştirememektedir.

Müşteriye uygun türde ve miktarda ürün gönderilememesinin sebebi yapılan bu çalışmanın ardından kalite kontrol departmanının düzenli kontrolleri gerçekleştirmemesi sonucu elde edilmiştir.

4.6.2. Neden – Sonuç diyagramı

Bu diyagram aracılığıyla problemin meydana gelmesinde önemli etkileri bulunan kök nedenler ele alınmıştır. Bu nedenler insan, metot, çevre, yönetim olarak belirlenmiştir ve belirlenen nedenler bu ana başlıklar altında hangisinden kaynaklanıyorsa alt dallara yerleştirilmiştir. Bu diyagram yardımıyla problemin nedenlerinin gruplandırılması sağlanmıştır. Yapılan bu çalışma Şekil 5.3 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Neden Sonuç Diyagramı

Müşteri talebinin pres ve dökümde aynı olmaması probleminin alt dalları, aşağıda sıralanmıştır;

1. Dökümden sonra kesilen takozlara zamanında kod numarasının yazılmaması.
2. Gece vardiyasında çalışanlarla, gündüz vardiyasında çalışanlar arasında koordinasyon yetersizliği.
3. Kalite kontrol birimindeki takip durumunun eksikliği
4. Talimatların eksikliği
5. Yarı mamül bekleme alanının düzenli olmaması ve karışıklığa neden olması.

6. Müşteriye yanlış ürün gitmesinde yüklemedeki çalışanlardan kaynaklı problemler olması
7. Ara kontrollerin sık sık yapılmaması bunun yanı sıra üretim sonunda kontrollerin olması.
8. ERP sisteminin kurulma aşamasında olması.
9. Siparişe göre ekstrüzyon pres bölümüne farklı tipte ürün getirilmesi sonucu serinin bozulması ile ürünlerin çıkışı sırasında çalışanların ürün özelliğini tespit edememesi sonucu çıkan karışıklık.
10. Bazı günlerde, testere görevlisinin çalışma saati bittikten sonra işini pres tezgahı çalışanına bırakması.

4.7. Hatanın Etkileri

Hatanın etkileri üç aşamada incelenecek olursa;

- Üretim aşamasında
- Müşteriye gönderilmeden önceki kontrolde
- Müşteriye ulaştıktan sonra

Üretim aşamasında eğer hata fark edilirse, ürünün akışı içerisindeki aşamalardan hangisinde fark edildiyse ürün tekrardan işlenir ve firmaya yeniden işleme maliyeti doğar. Bu hata ne kadar erken fark edilirse firma için maliyetler o derece az olacaktır. Örneğin testere ile kesildikten sonra eğer üretimde hata olduğu, yanlış ürün üretildiği fark edilirse üretilen ürün tekrar döküme gönderilir. Fakat bu hata presten çıktıktan sonra fark edilirse aynı türde ve miktarda müşteri siparişi varsa onun için üretilir, yoksa bakırın yeniden eritilerek işlenmesini gerektirir ve bu ilk duruma göre daha geç fark edildiğinden firmaya maliyeti daha yüksektir.

Müşteriye gönderilmeden önceki kalite kontrol aşamasında hata tespit edilecek olursa, o ürünün müşteriye olan teslimat süresi gecikecek, firma müşteri memnuniyeti için ürünü daha uygun fiyata vermek zorunda kalabilecek ve üreteceği o ürün için yeniden işleme maliyeti ortaya çıkacaktır. İlk başta üretilen ürün için harcanan zaman iş gücü maliyetleri artıracaktır.

Hata, ürün müşteriye ulaştıktan sonra tespit edilirse firmaya maliyeti en yüksek değerde olacaktır. Sebebi ise firma en önemli maliyet parametrelerinden olan müşteri memnuniyetini sarsmış olacaktır. Müşteriyi tekrar memnun edebilmek için

gönderdiği ürünün kendisine tekrar gelmesi için ortaya çıkan nakliye maliyetlerini kendisi üstlenecek ve müşterinin talep ettiği ürün için iki kere daha aynı nakliye maliyetine maruz kalacak. Ürünü tekrardan işleyecek ve gönderdiği ürün hurdaya ayrılarak tekrardan eritilecektir.

Yukarıdaki örneklerden de görüldüğü gibi hata ne kadar erken fark edilirse firmaya maliyeti o derece düşük olacaktır.

4.8. Yapılan Kontroller

Dökümün yapılmasının ardından kesme işlemi gerçekleşmeden önce, yapılan dökümden örnek alınarak kalite kontrol laboratuvarında analizi yapılır. Bu aşamada yapılan dökümün içeriğine bakılır, karışım oranlarının reçetesi çıkarılır ve iletkenlik testi yapılır. Eğer yapılan döküm uygun ise takozlar kesilerek şarjöre yüklenir ve pres alanına gönderilir. İkinci kalite kontrol ise pres işlemi tamamlandıktan sonraki çekme aşamasında gerçekleştirilir. Burada bir partideki ürünlerden ilk çekmesi yapılan ürün seçilir ve kalite kontrol departmanı tarafından fiziksel özelliklerine ve iletkenliğine bakılır. Lama üretimi için ekstradan çizik olmasının önüne geçmek için paketlemeden önceki son aşamada elle ve gözle kontrol yapılmaktadır.

4.9. Probleme Yönelik HTEA Çizelgesi

HTEA çizelgesinin oluşturulması için şiddet, olasılık ve saptanabilirlik derecelerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu parametrelerin hesaplanması aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Bu parametrelerin kriter ve dereceleri Tablo 4.2. Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.'de gösterilmektedir.

RÖS(Risk Öncelik Katsayısı): Her hatanın etkilerine göre sıralanması, düzenlenmesi veya öncelikli risk olasılığına göre derecelendirilmesi prensibine dayanır.

RÖS=P(Olasılık) x S(Şiddet) x D(Saptanabilirlik)

Şiddet: Hata etkilerinin müşterideki sonuçlarını değerlendirir. Etkileri 1 den 10 a kadar bir ölçekte sıralanırlar. 10 en şiddetlidir.

Olasılık: Bir hatanın ortaya çıkma olasılığıdır. Olasılık derecelendirilmesi 1'den 10'a kadar sayısal olarak yapılır.

Saptanabilirlik: Hatanın müşteriye ulaşmadan(Üretim veya montaj hattını terk etmeden) önce belirlenme olasılığıdır. 1'den 10'a kadar bir ölçekte sıralanır.

Tablo 4.2. Risk öncelik sayısı şiddet değerlendirme tablosu

Kriter	Derece
Hata Sistemin Durmasına Yol Açar	10
Hata Sistemin İşlevselliğini etkiler	8 yada 9
Hata Performansı Düşürür Onarım gerektirir	6 yada 7
Sürece Etkisi Azdır	3 ile 5 arası
Hata Müşteri Tarafından Farkedilmez	1 yada 2

Tablo 4.3. Risk öncelik sayısı hata olasılığı değerlendirme tablosu

Hata Olasılığı	Olası Hata Oranları	Derece
Kesin	0,5	10
	0,33	9
Çok Yüksek	0,125	8
Yüksek	0,05	7
Orta	0,0125	6
	0,0025	5
	0,0005	4
Düşük	0,0001	3
Çok Düşük	0,00005	2
Olanaksız	0,000025	1

Tablo 4.4. Risk öncelik sayısı saptanabilirlik değerlendirme tablosu

Tespit Etme	Derece	Tespit Etme	Derece
İmkansız	10	Orta	5
Çok Zor	9	Ortanın üstü	4
Zor	8	Yüksek	3
Çok az	7	Çok Yüksek	2
Az	6	Kesin	1

RÖS değerlerinin hesaplanmasından sonra oluşturulan HTEA çizelgesi Tablo 4.5. de gösterilmektedir.

Tablo 4.5 HTEA Çizelgesi I

Proses Fonksiyonu	**Potansiyel Hata Türü**	**Hatanın Potansiyel Etkileri**	**Hatanın Potansiyel Nedenleri**	**Şiddet**	**Olasılık**	**Saptanabilirlik**	**RöS**
Ekstrüzyon Pres	Yapılan Dökümlerin Karışması	Müşterinin İstediği Türde ve Miktarda Ürün Üretilememesi					
			Hatanın 1. Nedeni	6	8	8	384
			Hatanın 2. Nedeni	6	5	4	120
			Hatanın 3. Nedeni	6	7	4	168
			Hatanın 4. Nedeni	6	3	5	90
			Hatanın 5. Nedeni	6	5	9	270
			Hatanın 6. Nedeni	6	4	4	96
			Hatanın 7. Nedeni	6	3	4	72
			Hatanın 8. Nedeni	6	2	2	24
			Hatanın 9. Nedeni	6	6	5	180
			Hatanın 10. Nedeni	6	3	2	36

Probleme yönelik oluşturulan HTEA çizelgesinde öncelikle hata modu belirlenmiş ve bu belirlenen hata modunun oluşturduğu etkileri tespit edip bu hatanın oluşmasını sağlayan nedenler araştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda 10 tane neden belirlenmiştir. Hatanın oluşmasına yol açan bu 10 neden üzerinde RÖS değerleri hesaplanmış ve elde edilen bu değerlere göre Pareto analizi yapılmıştır.

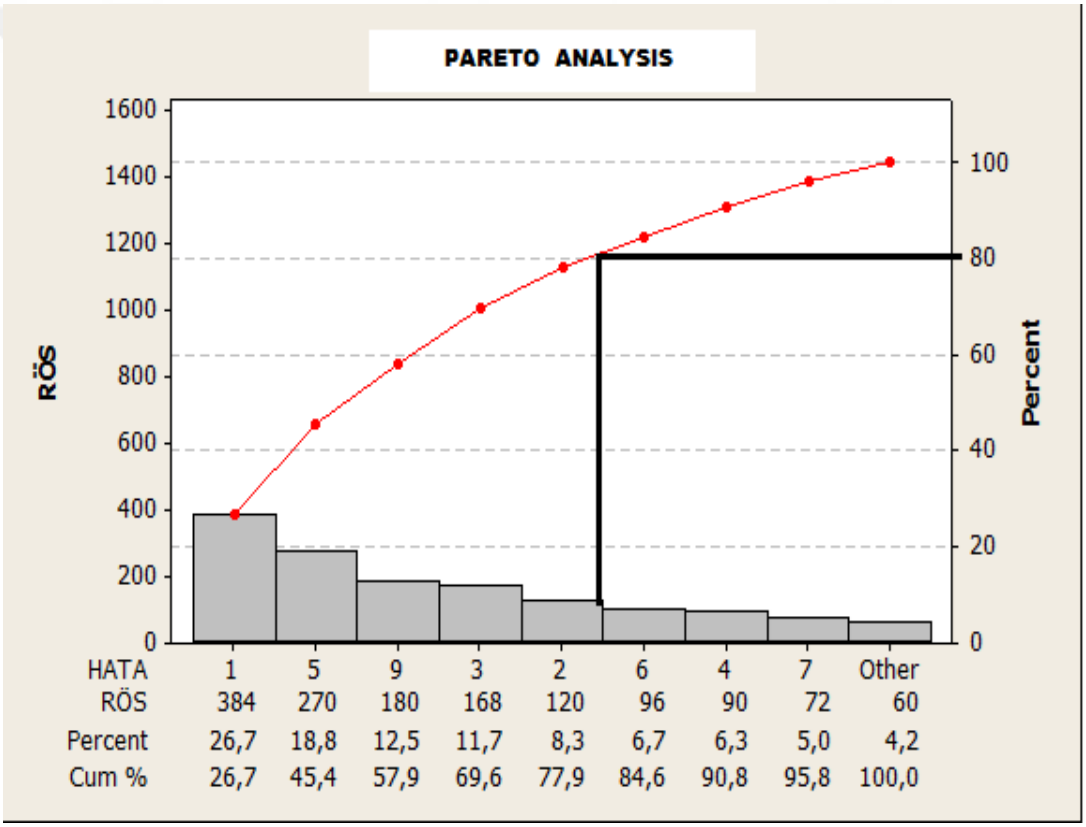
Oluşturulan RÖS tablosunda Şiddet değerleri hep aynıdır. Bunun sebebi hatanın müşteriye ulaşması durumunda müşterinin bu hataya vereceği tepki şiddeti aynıdır. Bu değerin değişimi söz konusu değildir. Olasılık ve saptanabilirlik kavramları ise alınan düzeltici/önleyici faaliyetler sonrasında değişkenlik gösterebilir.

RÖS değerlerine atama yapımı aşamasında grup üyeleri ile müşterek kararlar alınmıştır. Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik derecelendirme tablolarından yararlanılarak nedenlere puan ataması yapılmıştır.

RÖS değerlerinin hesaplanmasından sonra Şekil 4.4.deki Pareto analizi oluşturuldu. Pareto analizi ile yüksek RÖS değerine sahip sorunlar tespit edildi. Pareto analizi, çabaların ve kaynakların hangi hatalara yönlendirilmesi gerektiğine yardımcı olmaktadır.

Pareto Analizinin Faydaları;

- Problem üstündeki en önemli sebebi belirlemek,
- Bütün problemleri listelemek
- Problemlerin oranlarını ve önem derecelerini görmek
- Bir takım çalışmasını yönlendirmek



Şekil 4.4. Probleme Yönelik Pareto Diyagramı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Firmada gerçekleştirilen uygulama sonucunda belirlenen nedenlerden RÖS değeri en yüksek olan neden 1. Nedendir. Yani dökümden sonra takozlara zamanında kod numaralarının yazılmaması hatanın oluşmasında en büyük rolü üstlenmektedir. Daha sonraki nedenlere bakıldığında RÖS değeri yüksek diğer bir neden 5. Nedendir. Yarı mamül alanının düzenli olmaması, kod numaralarının zamanında yazılmamasından sonra 2. Sırada hatanın oluşmasında rol oynamaktadır. Bu sırayı 4.nedenden sonra 9. Neden, 3. Neden ve 2. Neden takip etmektedir.

Yukarıda Şekil 4.4 deki Pareto analizi bir önceki aşamada belirlenen RÖS değerlerine göre oluşturulmuştur. Pareto analizi oluşturulurken 10 nedenin RÖS değerleri kullanılmıştır. Bu 10 neden içinden hataların %80 inin 1,2,3,5 ve 9. Nedenden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Yani kod numaralarının düzenli yazılmaması, yarı mamül alanının düzenli olmaması, siparişe göre ekstrüzyon pres bölümüne farklı tipte ürün getirilmesi, gece vardiyasında çalışanlarla, gündüz vardiyasında çalışanlar arasında koordinasyon yetersizliği ve kalite kontrol birimindeki takip durumunun eksikliği hata türlerine iyileştirme yapılmak için öncelik tanınmalıdır. Diğer hatalar için de düzeltici faaliyetler geliştirilmiştir. Pareto analizinin uygulanma nedeni hangi hata nedenine öncelik tanınmasının belirlenmesidir.

Gerekli iyileştirmelerin yapılabilmesi için sunulan öneriler şu şekildedir:

Hata 1 için:

- Talimatlar ilgi çekmesi açısından görsel olarak hazırlanabilir.
- Yazı yazma işlemi yerde gerçekleştiğinden dolayı işçiye zor gelmektedir. Takozların bekleme alanının yüksekte olması daha ergonomik olabilir.

Hata 2 :

- İşçilere verilen eğitimler arttırılabilir.
- İş akışı ile ilgili video çekimi yapılıp olması gereken durum işçilere izletilmeli.

Hata 3 :

- Vardiya amirleri arasında devam eden iş ile ilgili tebliğ-tebellüğ belgeleri hazırlanabilir.

Hata 4 :

- Talimatlar ilgi çekmesi açısından görsel olarak hazırlanabilir.

Hata 5 :

- Yarı mamul bekleme alanı daha düzenli hale getirilebilir
- Takozlar testere ile kesildikten sonra yarı mamul bekleme alanı 4 bölüme ayrılarak karışıklık önlenmesi sağlanabilir.
- Upcast ocaklarda sadece ETP üretildiği için bu ocaklardan ve dökümden gelen şarjörler farklı renklere boyanabilir.

Hata 6 :

- Kanban kartları kullanılabilir. Bu kartların devamlılığını sağlamak için, şarjöre yükleyen ve şarjörden alan kişilerin işaretleyecekleri kutucuklar bulunmalıdır.

Hata 7 :

- Bir şarjöre en fazla 2 çeşit alaşım konulmaktadır. Şarjörün üst bölmesi ile alt bölmesinin birleştiği yere portatif takoz koyulması suretiyle farklı tip alaşımların karışması engellenebilir.

Hata 8 :

- ERP sistemi kurulmalıdır. Böylece;
- Kağıt ve işçi tasarrufu sağlanacak,
- İşçi verimliliği artacak,
- Denetleme için zaman kazanılacaktır.

Hata 9 :

- Üretim planlama, ürünün kimyasal özelliklerine göre siparişe paralel olarak ürünün planlamasını günlere düzgün olarak bölebilir. Örneğin; haftanın 2 günü sadece aralıksız ETP üretiyorsa diğer 3 günü DHP üretebilir.

Hata 10 :

- İşçilere verilen eğitimler arttırılabilir.

Ön görülen önerilere dayanarak Tablo 5.1. deki gibi RÖS değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.1 HTEA Çizelgesi II

Proses Fonksiyonu	**Potansiyel Hata Türü**	**Hatanın Potansiyel Etkileri**	**Hatanın Potansiyel Nedenleri**	**Şiddet**	**Olasılık**	**Saptanabilirlik**	**RöS**
Ekstrüzyon Pres	Yapılan Dökümlerin Karışması	Müşterinin İstediği Türde ve Miktarda Ürün Üretilememesi					
			Hatanın 1. Nedeni	6	5	7	210
			Hatanın 2. Nedeni	6	3	4	72
			Hatanın 3. Nedeni	6	6	4	144
			Hatanın 4. Nedeni	6	2	5	60
			Hatanın 5. Nedeni	6	3	7	126
			Hatanın 6. Nedeni	6	3	4	72
			Hatanın 7. Nedeni	6	2	3	36
			Hatanın 8. Nedeni	6	2	1	12
			Hatanın 9. Nedeni	6	3	5	90
			Hatanın 10. Nedeni	6	2	2	24

Tablo 6 incelendiğinde alınan önlemlerden sonra 5 numaralı hatanın RÖS değerinde %54 lük bir düşme saptanmıştır. Bunu %50 lik değişme ile 7,8 ve 9 no'lu hatalar takip etmektedir. Toplam RÖS değerleri arasındaki fark incelendiğinde ise alınan önlemlerden %41 lik bir fayda sağlandığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

Akın B., *ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi*, 1. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, Ankara, Türkiye, 1998.

Akpınar B., Hata Türü Ve Etkileri Analizi Yöntemine Gri Teori Yaklaşımının Uygulanması: Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015, 390426.

Anderson D., *Hazard Analysis in Engineering Design Handbook*, 1st. Ed., Louisiana Tech University, 2001.

Atay Ö.S., Ürün Gerçekleştirmede Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004, 154320.

Ayaz H.İ., Bilgisayar Veri Günlükleri Üzerine HTEA Otomasyonu ve Alternatif Yöntemler ile Çözüm Yaklaşımları, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2018, 493884.

Aydan M., Kaya S., Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA): Üniversite Hastanesinde Bir Uygulama, *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 2017, **20**(4), 475-502.

Aydın Ö.Ö., Tasarımda Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.

Badoux R.A.J., and Kema N.V., Availability and Maintainability, *Reliability Modeling and Applications Proceedings of ISPRA Course Held at the Joint Research Centre*, ISPRA, Italy, 25-29 November, 1985.

Bajaj S., Garg, R. and Sethi M., Total Quality Management: A Critical Literature Review Using Pareto Analysis. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2018, **67**(1), 128-154.

Bakkurt T.A., Hizmet İşletmelerinde Güvenilirlik Güvencesi Programları ve Bir HTEA(FMEA) Uygulaması, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2004, 145457.

Baraçlı H., Sıfır Hataya Ulaşmada Poka-Yoke Tekniği ve Ayakkabı Sektöründe Uygulama Çalışması, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998, 79137.

Barkai J., *Automatic Generation of a Diagnostic Ekspert Systems from Failure Mode Effect Analysis(FMEA) Information*, 1st Ed., SAE Technical Paper Series, Michigan, 1999.

Boran S., Hata Şekli ve Etkileri Analizinin Bulanık Küme Yaklaşımıyla Çözümlenmesi Olanağı, Basılmamış Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996, 57454.

Breeing A.J., Kunz A.M., Critical Consideration and Improvement of the FMEA, *Proceedings of the TMCE* , Wuhan China, 22-26 April, 2002.

Carlson W., Carslon C., Wallance G., and Taaffe C., *Surface Vehicle Recommended Practise,* 1st Ed., 2001.

Catuneanu V.M. and Mihalache A.N., *Reliability Fundamentals*, Elseiver Science Pub. Com. Inc., Amsterdam, 1989.

Cayman Business System, *Failure Mode and Effect Analysis* Revision N.980815, 1st. Ed., 2002.

Chang D.S., Sun, K.L.P. Applying DEA to enhance assessment capability of FMEA, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2009, **26**, 629-643.

Chang K. H., Liaw, C.-S., Chang, T.-Y., Chang, Y.-C., FMEA-based DEMATEL apportionment approach. *Chung Cheng Ling Hsueh Pao/Journal of Chung Cheng Institute of Technology*, 2013b, **42**(1), 41-58.

Chang K.H., Chang Y.C, and Tsai I.T., Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach, *Eng. Fail. Anal*.,2013a, **31**, 211-224.

Chin K.-S., Wang Y.-S, Poon G.K.K., Yang, J.B., Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis. *Decision Support Systems*, 2009, **48**, 246-256.

Cox S.J. and Tait N.R.S., *Reliability, Safety and Risk Management An Integrated Approach*, 1st Ed., Butter-Worth Heinemann Ltd. Oxford, 1991.

Dhillon B.S., *Design reliability: Fundamentals and applications*, 1st. Ed., CRC Press LLC, 1999

Dhillon B.S., and Reiche H., *Reliability and Maintanability Management*, 1st. Ed., Van Nostrand Reinhold Com. Inc., New York 1985.

Duman E., Hata Türü ve Etkileri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Ensitüsü, İstanbul, 2001, 104179.

Dummer G.W.A. and Winston R.C., *an Elementary Guide to Reliability*, 4th Ed., Pergamon Press, Oxford 1990

Eleren A., Eğitim Başarısının Artırılmasında Süreç Geliştirme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2007, **9**(2): 1-25.

Ford Motor Company, *Potential Failure Mode and Effect Analysis(FMEA) Handbook*, 1st Ed., 1995.

Franklin B.D., Shebl, N.A. ve Barber, N., Failure mode and effects analysis: too little for too much?, *BMJ Quality Safety*, 2012, **21**(7): 607–611

Guard C., *RBDM, Risk-Based, Decion-Making Guidelines, vol 3. Procedures for Assessing Risks , Chapter 9*., 1st Ed., Washington DC , 2002.

Hammett P., *Total Quality Management*, 1st Ed., University Of Michigan, Michigan, 1999.

Hansen B.L., *Quality Control Theory and Applications*, 1st Ed., Prentice-Hall Inc, New Delhi, 1966.

Kanji G.K., Asher M., *100 Methods for Total Quality Management* , 1st Ed., Sage Publications Ltd. 1996.

Kara-Zaitri C., *Maintence Management Concepts and Practise Handbook* , 1st ed., General Purpose Hosting, 1996.

Kara-Zaitri C., Keller, A., Fleming P., A Smart Failure Mode and Effect Analysis Package, *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Las Vegas, USA, 21 January 1992.

Keser K., *Hataların Şekillerinin, Etkilerinin ve Öneminin Analizi*, TEMSA Otomotiv Grubu Önce Kalite/Eğitim Notları, 1. Baskı, Adana, 1998.

Keyserling W.M., *IQE 539 notes: Failure Modes and Effect Analysis(FMEA),* Industrial and Operations Engineering-University of Michigan, 1st Ed., Michigan, 2000.

Köseoğlu L., Keleş Ö., Demirler U., ve Taptık Y., Kalite Araç ve Tekniklerinin Üretim Süreci ile Bütünleştirilmesi ve Ürün Kalitesine Katkısının Değerlendirilmesi, *9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul- Türkiye, 11-15 Haziran 1995

Kutlu A. C., Ekmekcioğlu, M., Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 2012, **39**(1), 61-67.

Liu H. C., Liu L., Li P., Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid weighted Euclidean distance operator, *International Journal of Systems Science*, 2014, **45**(10) 2012-2030.

Liu H.C., Liu L., Liu N. and Mao L. X., Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment, *Expert Systems with Applications*, 2012, **39**, 12926-12934.

Liu H. C., You J. X., Shan M. M., and Shao L.N., Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach, *Soft Computing*, 2015, **19**(4), 1085-1098.

Mohr, R.R., *Failure Mode and Analysis*, 8th. Ed. JACOBS Sverdrup, 2002.

Nasa Lewis Research Center, *Failure Modes and Effect Analysis(FMEA) A Bibliography Handbook*, 1st Ed., Nasa, 2000.

Özay S., Ürün Geliştirmede Toplam Kalite Yönetim Tekniklerinden Hata Türü ve Etkisi Analizinin İncelenmesi ve bu Tekniğin Bir Otomotiv Firmasındaki Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1999, 87082.

Özfirat P.M., 2014. Bulanık önceliklendirme metodu ve hata türü ve etkileri analizini birleştiren yeni bir risk analizi yöntemi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **29**(4), 755-768.

Pentti H. and Atte H., Failure Mode and Effect Analysis of Software-Based Automation Systems, *STUK-Radiation and Nuclear Safety Authority*, Helsinki, 20 August 2002.

Potts H.W.W., Anderson J.E., Colligan L., Leach P., Davis S. and Berman J. Assessing the Validity of Prospective Hazard Analysis Methods: A Comparison of Two Techniques, *BMC Health Services Research*, 2014 **14**(41):1-10.

Ristord L. and Esmenjaud C., FMEA Per-ored on the SPINLINE3 Operational System Software as part of the TIHANGE 1 NIS Refurbishment Safety Case. CNRA/CNSI Workshop 2001–*Licensing and Operating Experience of Computer Based I&C Systems*. Ceské Budejovice 25-27 September, 2001.

Sachdeva A., Kumar D., Kumar P.A., Methodology to Determine Maintenance Criticality using AHP. *International Journal of Productivity and Quality Management,* 2008, **3**(4), 396-412.

Sankar N. R., Prabhu B.S., Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2001, **18**(3), 324-336.

Sarıkaya N., *Toplam Kalite Yönetimi*, Adapazarı: Sakarya Kitabevi, 1. Baskı, 2003.

Sedef Z.Y., Toplam Kalite Yönetimi Anlayışının Sağlık Sektöründe Uygulanması: Trakya Üniversitesi Sağlık Araştırma ve Uygulama Merkezi ile Edirne Devlet Hastanesi'nin Karşılaştırılması, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne, 2009, 241035.

Seyed-Hosseini S.M., Safaei N. and Asgharpour M.J., Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. *Reliability Engineering and System Safety*, 2006 **91**(8), 872-881.

Sharma R. K., Kumar, D., and Kumar, P., 2005. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling, *International Journal of Quality & Reliability Management*,2005, **22**(9), 986-1004.

Shebl N.A., Franklin, B.D., Barber, N., Is failure mode and effect analysis reliable?, *J Patient Saf*, 2009, **5**(2): 86–94

Song W., Ming X., Wu Z. and Zhu B., Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2013 **26**(12), 1172-1186.

Song W., Ming X., Wu Z., and Zhu B., 2014. A rough TOPSIS approach for failure mode and effects analysis in uncertain environments. *Quality and Reliability Engineering International*, 2014, **30**(4), 473-486.

Sönmez Y., Hata Türü Etkileri Analizi Ve Otomotiv Parçaları Üretiminde Bir Uygulama. *Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Bölümü, İşletme Bilimi Dergisi (JOBS)*, 2017; **5**(2): 217-245.

Stamatis D.H., *Failure Mode and Effect Analysis:FMEA from Theory to Execution* ASQC Quality Press, 1st Ed., 1995.

Şimşek M., *Toplam Kalite Yönetimi*, İstanbul: Alfa Yayınları, 5. Baskı, İstanbul 2007.

Şişman B., Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleri ile Otomotiv Sektöründe Risk Değerlendirmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2017, **9**(18): 234-250.

Tan Z. D., & Du Z.F., Failure mode and effects analysis of equipment based on grey theory. *Applied Mechanics and Materials,*2013, **313**, 763-766.

Toptancı Ş. ve Erginel N., Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Kalite Fonksiyon Yayılımı ile Bir İnşaat Firması İçin Risk Değerlendirmesi. *Anadolu Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2017, **5**(0): 189-199.

Tunçelli, Sinem Bahar, Helikopter Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Kavram Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006, 222545.

TÜV Sudwest, . *FMEA Seminer Notları*, 1. Baskı, İstanbul, 2002.

Usuğ C., Hata Türleri ve Etkileri Analizi(HTEA) ve Üretim Hizmet Sektörü Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul, 2002, 109322.

Vahdani B., Salimi, M., & Charkhchian, M., A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process. The *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, **77**(1-4), 357-368.

Vorley G., *Failure Mode and Effect Analysis, Quality Management & Training Limited Handbook*, 1st ed., 1999.

Werwega S. , *QSE-FMEA/APQP Solution : Training Manuel*, 1st ed., QSE-inc, 2002.

Xu K., Tang L.C., Xie M., Ho S.L., and Zhu M.L., Fuzzy assessment of FMEA for engine systems, *Reliability Engineering & System Safety*, 2002, **75**(1), 17–29.

Yatkın Ahmet, *Toplam Kalite Yönetimi*, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 2. Baskı, Ankara, 2004..

Yerlikaya M.A., Efe B., Efe Ö.F., İş Güvenliğinde Bulanık Promethee Yöntemiyle Hata Türleri ve Etkilerinin Analizi: Bir İnşaat Firmasında Uygulama, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2016, **6**(2): 126-137.

Yılmaz A., Hata Türü ve Etkileri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997.

Zacks S.,*System effectiveness. In Introduction to reliability analysisprobability models and statistical methods (1–11).* 1st ed., NY: Verlag New York Inc., 1992.

Zhou Q., Thai, V.V., Fuzzy and grey theories in failure mode and effect analysis for tanker equipment failure prediction, *Safety Science*, 2016, **83**, 74-79.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Dayan T.A., Hata Türü Etkileri Analizi Ve Kalite Araçları Kullanılarak Bakır Profil Üretim Verimliliğinin Artırılması, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2018 **1**(2), 67-76.

ÖZGEÇMİŞ

15.04.1991 tarihinde İstanbul'un Kadıköy ilçesinde doğmuştur. Lise Öğrenimini İstanbul'da Türk Kızılayı Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. Orta öğretim ve Lise Eğitimini bitirdikten sonra 19 Mayıs Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde 2009-2013 yılları arasında lisans eğitimini tamamlamıştır. 2013 yılında TÜBİTAK BİLGEM'de Dış Satınalma Sorumlusu olarak iş hayatına atılmıştır. Halen bu görevini yürütmektedir.