



**SAVUNMA SANAYİSİNDE KARŞILAŞILAN ÜRETİM HATALARININ
GRİ İLİŞKİSEL VE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE
İNCELENMESİ**

İrem UĞURLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İrem UĞURLU

17/07/2025

SAVUNMA SANAYİSİNDE KARŞILAŞILAN ÜRETİM HATALARININ GİRİ İLİŞKİSEL VE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

İrem UĞURLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2025

ÖZET

Üretim süreci, bir ürünün hammaddeyi nihai ürüne dönüşene kadar geçtiği tüm aşamaları kapsar. Üretim sürecinde gerçekleştirilen analizler ise bu aşamaların detaylı incelenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalardır. Bu analiz sayesinde hatalar, aksaklıklar ve verimsizlikler tespit edilerek süreçlerin daha kaliteli, güvenilir ve ekonomik hale getirilmesi sağlanır. Savunma sanayisinde üretim süreçlerinde karşılaşılan hatalar, ürün kalitesi, güvenilirlik ve operasyonel verimlilik üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu çalışmada, savunma sanayisinde talaşlı imalat süreçlerinde meydana gelen üretim hatalarının analizi amacıyla Gri İlişki Analizi (GİA) ve Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemleri birlikte uygulanmıştır. Çalışmada, üretim hatalarının belirlenmesi, sınıflandırılması ve önceliklendirilmesi sağlanmış; kritik hata türleri tespit edilerek hata kök nedenleri analiz edilmiştir. Savunma sanayisinde alt yüklenici tedarikçilerde üretilen mekanik parçalarda 6 süreç değerlendirilmeye alınarak toplam 15 farklı hata türü ele alınmıştır. Geometrik Tolerans ve Ölçülendirme sürecinde bulunan hatalardan boyutsal, konum, çap, profil, düzlemsellik, diklik hataları risk öncelik değerlendirmesinde en kritik risk grubunu oluşturmaktadır (RÖS: 300-420). İki yöntem bir arada kullanılarak hem kalite iyileştirme çalışmaları hem de üretim sürecinde iyileştirici önlemler geliştirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular doğrultusunda üretici firmalara yönelik iyileştirme önerileri sunulmuş ve savunma sanayisinde kalite yönetimine katkı sağlayacak stratejik sonuçlar elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Savunma sanayi, üretim hataları, gri ilişki analizi (GİA) ve hata türü ve etkileri analizi (HTEA), kalite iyileştirme
Sayfa Adedi : 77
Danışman : Doç. Dr. Gültekin UZUN

ANALYSING PRODUCTION ERRORS IN A DEFENSE INDUSTRY WITH GREY
RELATIONAL AND FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS

(M. Sc. Thesis)

İrem UĞURLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2025

ABSTRACT

The production process includes all steps from raw material to final product. Production process analysis involves systematically examining and improving these steps to detect errors, inefficiencies, and risks. This ensures higher quality, reliability, and cost efficiency. Production errors encountered in manufacturing processes within the defense industry directly affect product quality, reliability, and operational efficiency. In this study, Grey Relational Analysis (GRA) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methods were jointly applied to analyze production errors occurring in machining processes in the defense sector. The study enabled the identification, classification, and prioritization of production errors, and critical error types were determined by analyzing their root causes. A total of 15 different error types were addressed by evaluating 6 processes in mechanical parts produced by subcontractor suppliers in the defense industry. Among the errors found in the geometric tolerance and dimensioning process, dimensional, position, diameter, profile, flatness, perpendicularity errors constitute the most critical risk group in the risk priority evaluation (RÖS: 300-420). By combining these two methods, quality improvement activities and corrective actions in the production process were developed. Based on the findings, improvement suggestions were provided to manufacturing firms, and strategic results were achieved that contribute to quality management practices in the defense industry.

Science Code : 91438

Key Words : Defense industry, production errors, grey relational analysis(GRA), failure mode and effects analysis(FMEA), quality improvement

Page Number : 77

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gültekin UZUN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi, tecrübe ve fikirleriyle beni yönlendiren ve destekleyen değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr. Gültekin UZUN'a, süreç içerisinde tez çalışmamın uygulama aşamasına destek sağlayan Arş. Gör. Büşra ÇALIK'a, değerli birim amirim Yunus AYDIN'a, yüksek lisans sürecimde ve hayatımın her sürecinde maddi ve manevi katkılarıyla, sabır ve anlayışıyla tüm çalışmalarımındaki başarıma hep desteği olan canım annem Vildan UĞURLU, bu süreçte değerli desteklerini esirgemeyen kardeşim Aliye Şevval UĞURLU, kardeşim Cihan Efe UĞURLU ve canım destekcim Gaye Gizem ODACI, ve son olarak hatırası ve öğretileriyle bana hep yol gösterici olan babam Mustafa UĞURLU'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Literatür Taramasının Genel Değerlendirmesi	6
3. ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	7
3.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA).....	7
3.1.1. Hata türü ve etkileri analizi ile ilgili tanımlamalar	8
3.1.2. HTEA'nın avantaj ve dezavantajları.....	9
3.1.3. Hata türü ve etkileri analizi türleri	11
3.1.4. Hata türü ve etkileri analizinde uygulama süreci.....	14
3.2. Gri İlişkisel Analiz (GİA)	24
3.2.1. Gri teori yaklaşımı.....	25
3.2.2. Gri ilişkisel analizin amacı.....	27
3.2.3. Gri ilişkisel analizin avantajları.....	28
3.2.4. GİA matematiksel uygulama aşamaları	29
4. SAVUNMA SANAYİSİ VE TALAŞLI İMALAT SEKTÖRÜNE BAKİŞ.....	35

	Sayfa
5. İŞLETMEDE HTEA VE GİA'İN UYGULANMASI.....	37
5.1. Araştırmanın Varsaym ve Kısıtları.....	37
5.2. Uygulama.....	37
5.3. Düzeltici Önleyici Faaliyetlerin Seçimi, Uygulanması ve Güncel RÖS Değer....	48
5.4. Gri İlişki Analizi Uygulanması	56
6. HTEA ve GRİ ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.	65
6.1. Örnek Çalışma.....	67
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. HTEA'nın avantajları ve dezavantajları	7
Çizelge 3.2. Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik derecelendirme ölçeği.....	22
Çizelge 3.3. HTEA formunda olması gereken unsurlar.....	23
Çizelge 3.4. Şiddet-RÖS karşılaştırması.....	24
Çizelge 3.5. Siyah, gri ve beyaz sistemlerin kıyaslanması.....	25
Çizelge 5.1. Ham madde süreci mevcut durum ve karşılaşılabilecek hata türü.....	39
Çizelge 5.2. Ham madde süreci RÖS değeri hesaplanması.....	39
Çizelge 5.3. Geometrik tolerans ve ölçülendirme süreci durum ve hata türü.....	41
Çizelge 5.4. Geometrik tolerans ve ölçülendirme süreci RÖS hesaplaması.....	42
Çizelge 5.5. Dış proses süreci mevcut durum ve hata türü.....	42
Çizelge 5.6. Dış proses süreci RÖS hesaplaması.....	43
Çizelge 5.7. Görsel yapı süreci mevcut durum ve hata türü.....	43
Çizelge 5.8. Görsel yapı süreci RÖS hesaplanması.....	43
Çizelge 5.9. Revizyon süreci mevcut durum ve hata türü.....	44
Çizelge 5.10. Revizyon süreci RÖS hesaplanması.....	44
Çizelge 5.11. Teknik resim-katı model süreci mevcut durum ve hata türü.....	45
Çizelge 5.12. Tekin resim-katı model süreci RÖS hesaplanması.....	45
Çizelge 5.13. Potansiyel hata türleri ve RÖS değerleri.....	46
Çizelge 5.14. Ham madde süreci önleyici faaliyetleri.....	47
Çizelge 5.15. Ham madde süreci önleyici faaliyetlerinin güncel RÖS hesaplanması....	48
Çizelge 5.16. Geometrik tolerans ve ölçülendirme süreci önleyici faaliyetleri.....	49
Çizelge 5.17. Geometrik tolerans ve ölçülendirme güncel RÖS hesabı.....	51
Çizelge 5.18. Dış proses süreci önleyici faaliyetleri.....	52

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.19. Dış proses süreci önleyici faaliyetleri ve güncel RÖS değerleri.....	53
Çizelge 5.20. Görsel yapı süreci önleyici faaliyetleri.....	54
Çizelge 5.21. Görsel yapı süreci önleyici faaliyetleri ve güncel RÖS değerleri.....	54
Çizelge 5.22. Revizyon süreci önleyici faaliyetleri.....	55
Çizelge 5.23. Revizyon süreci önleyici faaliyetleri.....	55
Çizelge 5.24. Teknik Resim - katı model süreci önleyici faaliyetleri.....	56
Çizelge 5.25. Teknik Resim - katı model süreci önleyici faaliyetleri.....	57
Çizelge 5.26. HTEA özet RÖS değerleri.....	58
Çizelge 5.27. Normalizasyon sonuçları.....	60
Çizelge 5.28. Mutlak fark matrisi sonuçları.....	61
Çizelge 5.29. Gri ilişki katsayıları sonuçları.....	63
Çizelge 5.30. Gri ilişki dereceleri sonuçları.....	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. HTEA takımı.....	16
Şekil 3.2. HTEA süreci	17
Şekil 3.3. Gri teori akış diyagramı.....	27
Şekil 6.1. Gri derece grafiği	64
Şekil 6.2. HTEA ve GİA nın birlikte değerlendirilmesi- sıralama grafiği.....	65
Şekil 6.3. Örnek çalışma.....	66

KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
B	Belirlenebilirlik
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	Bilgisayar Destekli İmalat
F. EB	Fark Edilebilirlik
FMEA	Failure Mode Effect Analysis
GİA	Gri İlişki Analizi
GRA	Gray Relation Analysis
GİD	Gri İlişki Derecesi
GİK	Gri İlişki Katsayısı
HTEA	Hata Türü Etkileri Analizi
O	Olasılık
RÖS	Risk Öncelik Sıralaması
Ş	Şiddet
T	Tespit Edilebilirlik
UA	Uyum Analizi

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan üretim sektöründe piyasa koşullarında oldukça rekabetçi ortam bulunmaktadır. Bu alanda üretim hatalarıyla karşılaşılması kaçınılmaz olmaktadır. Bu hataların çözülmemesi veya iyileştirilmemesi durumunda hem müşteri bazlı memnuniyetsiz ve olumsuz durum meydana gelmekte hemde üretici firmanın kalitesini düşürüp mali açıdan da zarara uğratabilmektedir.

Savunma sanayisi, yüksek hassasiyet, güvenilirlik ve kalite gereksinimlerinin en üst düzeyde olduğu ve ağırlıklı olarak talaşlı imalat yöntemi ile üretim gerektiren bir sektördür. Talaşlı imalat; bilgisayar ortamında tasarımı ve programlaması yapılan, belirli standartlar altında metal/polimer ham maddeler üzerinden kesici takımlar kullanılarak istenen ölçü ve geometri imal edilene kadar tornalama ya da frezeleme gibi prosesleri ile talaş kaldırılarak uygulanan bir üretim yöntemidir [1].

Savunma sanayi sektöründeki üretim süreçleri, üretilen parçaların işlevselliği ve dayanıklılığı üzerinde doğrudan etkili olan çeşitli kalite standartlarına ve teknik gereksinimlere bağlıdır. Özellikle, kritik görülen parçalarda meydana gelen en küçük bir hata dahi, ilgili sistemlerin genel performansını ve güvenliğini olumsuz etkileyebileceği gibi, ciddi mali kayıplara, teslimat gecikmelerine ve operasyonel aksaklıklara yol açabilmektedir. Bu nedenle, üretim sürecinde hataların tanımlanması, hataların kök nedenlerinin belirlenmesi ve sürekli iyileştirme faaliyetlerinin yürütülmesi, savunma sanayisinde kalite yönetiminin en önemli unsurlarından biridir.

Talaşlı imalat sürecinde karşılaşılan üretim hataları, savunma sanayisinde kalite yönetiminin en büyük zorluklarından biridir. Bu hatalar, genel olarak şu şekilde sıralanabilir: Geometrik tolerans hataları, yüzey kalitesi hataları, malzeme hasarları ve mikro yapısal hatalar, ölçüsel tolerans hataları, aşınma ve kesici takım hasarlar, operatör, programlama, soğutma ve yağlama problemleri vb. gibi buna benzer birçok hata bulunmaktadır.

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), gerçekleşme ihtimali öngörülen üretim hataların oluşmadan önlenbilmesine olanak sağladığı için hata analizlerinde sıklıkla kullanılmakta olup, kayda değer bir yere sahiptir [1]. Gri teori kavramına dayanan Gri ilişki analizi (GRİ)

tekniki, zayıf, eksik ve belirsiz verilere göre birden fazla faktör ve değişken arasındaki karmaşık ilişkilere çözüm sunmayı ve karar almabilmeyi hedeflemektedir [2, 3]. Savunma sanayisinde birçok farklı yöntem ile nihai ürünün doğruluğu veya hatalı olması durumu tespit edilebilir ancak hata mevcut ise hatanın ana sebebi istatistiksel olarak veri oluşturulmadan kesin olarak bilinmemektedir.

Bu çalışmada, savunma sanayisinde faaliyet gösteren bir işletmede, üretim sürecinde meydana gelen hataların analizi ve iyileştirilmesine odaklanılacaktır. Analiz sürecinde Gri İlişki Analizi (Grey Relational Analysis, GRA) ve Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) yöntemleri bir arada kullanılacaktır. GİA, farklı kriterler doğrultusunda en iyi ve en kötü üreticilerin belirlenmesini sağlarken, FMEA ise her bir üretici firma tarafından sıkça yapılan hata türlerini ve bu hataların üretim üzerindeki etkilerini değerlendirmek için uygun bir yöntem sunmaktadır. Bu sayede, en sık yapılan üretim hatalarının belirlenmesi ve teknik resimlerde yapılacak iyileştirmeler ile hataların azaltılmasına yönelik stratejik kararlar alınması hedeflenmektedir.

Çalışmanın bir diğer hedefi, belirlenen hataların giderilmesi adına yapılan teknik resim değişikliklerinin iyileşme oranı üzerindeki etkisini incelemektir. Bu kapsamda, üretici firmaların performanslarını artırmaya yönelik öneriler sunulacak ve ilgili değişikliklerin iyileşme oranlarına katkısı analiz edilecektir. Literatürdeki benzer çalışmaların ışığında bu tez, savunma sanayisinde kalite iyileştirme çalışmalarına katkıda bulunmayı ve hata yönetimi süreçlerini geliştirmeyi amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde Gri ilişki analizi ve Hata türü etkileri analizi yöntemleri kullanılarak birçok farklı sektörde çeşitli uygulamalar ile çalışmalar yapılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar taranmış ve incelenmiş olup, aşağıda özetlenmiştir.

Baş (2012), vitrifiye sektöründe bir işletmede, kalitesel süreçleri iyileştirmek için üretimde meydana gelen 26 farklı hata çeşitlerine göre GİA ve Uyum analizi (UA) yöntemlerini kullanmıştır. İlişki derecesine göre 11 hata türü kullanılarak grafiksel veriler elde edilerek en sık rastalanan hata ve ürünün hurdaya atılmasına sebep olan hata tespit edilerek sonuçlar elde edilmiştir. İki analiz yöntemi ile de kıyaslama yapılmış olup, benzer değerler ortaya çıkmıştır. Buna ilişkin işletmede karşılaşılan üretim hata türlerinin ve bunların sebeplerini, ürünün kalitsel sınıflandırılmasıyla aralarındaki ilişkilerin önceden belirlenerek gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olmuştur [4].

Sofyalıoğlu (2011), tarafından yapılan bu çalışmada klasik HTEA uygulamasındaki eksiklikleri ve eleştirileri ortadan kaldırmak ve minimuma çekmek amacıyla GİA yöntemini kullanıp, kıyaslama yapmıştır. Ardından, konuyla ilgili endüstride havlu radyatörleri üreticisi bir firmadan temin edilen verileri kullanarak analiz gerçekleştirmiştir. GİA uygulamasının sonucunda, klasik HMEA sonuçlarına göre farklılık göstermiş olup karar faktörlerine farklı ağırlıklar verilebilmesine olanak sağlamıştır. Buna göre farklı riskler ortaya çıktığı görülmüştür [5].

Kuo, Yang ve Huang (2008), çalışmalarında GİA prosedürü kullanılarak bir işletmede tesis düzeni ve dağıtım kuralları seçimi problemi olmak üzere iki durumu analiz etmişlerdir. Tesis düzeni problemi durumunda, 18 alternatif düzen ve 6 performans niteliği dikkate alınmıştır. Dağıtım kurallarını seçme problemi durumunda, 9 alternatif dağıtım kuralı ve 7 performans niteliği dikkate alınmıştır. İncelenen iki durum için, karşılaştırma sonuçları ortaya koyulmuştur. Tesis yerleşim probleminde, bu çalışmada dağıtım kuralı seçimi problemi için ayırt edici katsayı sırasıyla 0,1-0,3-0,5-0,7 ve 0,8 olarak ayarlandığında GİA sonuçları üzerindeki etki analiz edilmiştir. Sonuçta yalnızca ayırt edici katsayı 0,1 olarak ayarlandığında üç dağıtım kuralının sıralaması, minimum sapma (MD), en kısa işlem süresi (SPT) ve yetersizlik (SLK)'nin farklı olduğunu göstermektedir. Öte yandan, önerilen GİA,

ayırt edici katsayının parametrelerden kaynaklanan hassasiyet sorunuyla karşılaşmıştır. Farklı ayırt edici katsayılar farklı çözüm sonuçlarına yol açabildiği gösterilmiştir. Karar vericiler birkaç farklı ayırt edici katsayı denemeli ve GİA sonuçları üzerindeki etkiyi, mevcut çalışmada yapıldığı gibi analiz etmesi gerektiği vurgulanmıştır [6].

İstif (2022), tezinde HTEA' nın olumsuz özelliklerini gidermek amacıyla Gri ilişki analizi yöntemi uygulaması çalışılmış olup bu yöntemin otomotiv yan sanayinde üretilen bir parça üzerinde analiz denemesi yapmıştır. Çalışmada talaşlı imalatta meydana gelen Risk Öncelik Sıralaması (RÖS) değeri 120'den büyük olan üretim hataları referans alınmış olup HTEA ve gri ilişki analizi ile sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntem işletme içerisinde HTEA ekibi kurulup, bir sonraki üretim sürecinde meydana gelebilecek ve çalışanlar ile çözümlenecek olan hataların zamandan tasarruf ederek işletmede kritik olan hata çeşitlerine yönelmeleri sağlamıştır. Belirlenen üretim hataları analizler sonucunda hataların azalış oranı %80 olup iyileştirme gösterdiği ve müşteri siparişlerinde artış oranı %50 olduğu belirlenmiştir [7].

Beylihan ve Elevli (2023), otomotiv sektöründe faaliyet gösteren işletmede bir ürün için uygulaması yapılan HTEA çalışmasında belirlenen risk faktörlerinin derecelendirilmesinde Bulanık SWARA yöntemi seçilip kullanılmıştır. Çalışma sonucunda grafiksel veriler ile en sık rastalanan ve riski en yüksek hatalar “Kalıp içi dizilim hatası”, “Proses parametrelerinin hatalı olması” ve “Bilezik Talaşlı İmalat Personel Hatası” belirlenmiş buna göre üst yönetime bilgilendirilecek şekilde veriler ortaya konmuştur. Sonuç olarak işletmenin kalite çalışanları ile yeni uygulamalar sisteme koyulmuştur [8].

Chakraborty, Datta ve Chakraborty (2023), GİA yönteminin günümüz imalat endüstrilerinde çeşitli kesilmesi zor, gelişmiş mühendislik malzemelerini işlemek amacıyla yoğun bir şekilde kullanılan bazı önemli işleme süreçlerinin (tornalama, frezeleme, delme, dalma erezyon, Tel erezyon ve lazer ışını ile işleme) parametrik analizi ve optimizasyonunda kapsamlı incelemesini sunmaktadır. GİA'nın çeşitli işleme süreçlerinin parametrik optimizasyon problem belirleme ve çözme de etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [2].

Singh, Raghukandan ve Pai (2004), bu araştırmada Al-10%SiCP döküm metal matris kompozitlerinin ortogonal dizi (OA) kullanılarak elektrik deşarjlı işleme (EDM) üzerindeki metal çıkarma oranı (MRR), takım aşınma oranı (TWR), koniklik (T), radyal aşındırma

(ROC) ve yüzey pürüzlülüğünün (SR) çoklu tepki optimizasyonu Gri ilişkisel analizi ile raporlanmıştır. Gri ilişkisel üretmeyi gerçekleştirme ve Gri ilişkisel katsayısını hesaplamışlardır. Gri ilişkisel katsayısının ortalamasını alarak Gri ilişkisel derecesini 0,6446 hesaplamışlardır. Akım (C), darbe süresi (P) ve yıkama basıncı (F) parametrelerinin MRR, TWR, T, ROC ve SR yanıtları üzerindeki etkisini istatistiksel varyans (ANOVA) ile incelenmiş olup, Akım parametresinde %16,74 , darbe süresinde %74 katkı sağlandığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak iyileştirilen gri ilişkisel katsayısı: 0,1225 olarak belirlenmiştir [9].

Akpınar (2015), yapmış olduğu bu çalışmada HTEA'da görülen eksikliklerin azaltmak için GİA ile bütünleştirilmiş uygulama tercih edilmiştir. Uygulama olarak otomotiv sektöründe bütünleme biriminde meydana gelen hata ve hata türlerinin GİA ve HTEA uygulamalarını bir arada kullanarak çalışılmıştır. Aşama aşama ilerletilen bu çalışmada öncelikle HTEA kullanılmış sonra GİA uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre sıralama ve önem sonuçları değişmiştir. Çıkan sonuçlar özelinde düzeltici önleyici faaliyetler sunulmuştur, Gri RÖS'e göre önceliklendirmeler nihailendirilmiştir ve bunlara istinaden hata ve hata türleri üzerine çalışma devam edilmiştir. Önleyici ve düzeltici faaliyetler başlatılması üzerine montaj hattında önemli derecede iyileştirmeler sağlanmıştır [10].

Ayaz ve Testik (2017), çalışmalarında bilgisayar sunucuları üzerinde çalışmışlardır. Buna göre hata türlerini ve etkilerini tanıtip, belirleyebilmek gayesiyle GİA ve HTEA'yı entegre uygulamışlardır. Hata türleri herhangi başka hata türlerinden etkisi ile değişkenlikler gösterebildiğinden, birbiri ile ilişkili hata türlerini ortaya koyabilmek adına ilişkilendirme analizi uygulanmıştır. Çalışmada, sunucularında meydana gelen problemler için HTEA fonksiyonlarının otomasyonu üzerine yoğunlaşmış ve bununla birlikte risk önceliklendirmesi gerçekleştirilmiştir. Uygulama kapsamında, bir bilgisayar sunucusundan elde edilen log veri sonuçlarından 268 hata analiz edilmiştir. Bu süreçte, en kritik hata türleri objektif olarak ve doğru bir şekilde tespit edilerek önceliklendirilmiştir [11].

Chiu, Chu ve Chen (2018) hazır giyim sanayine yönelik sistemsel yapıda ve kapsamlı bir ürün ortaya koyma-hizmet stratejisi ortaya koymak için bir uygulama sunmuşlardır. HTEA yöntemi, önem-performans analizi ile birleştirilerek potansiyel müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada bir hizmet veya ürün geliştirme denklemi ile tam tersi bir denklem olan bir ürün ya da hizmet yaşam döngüsü analizi oluşturulmuştur. Servis konseptlerinin geliştirilmesinin ardından, alternatiflerin belirlenip değerlendirilmesi için

GİA ve senaryo analizlerinden faydalanılmıştır. Ürün-hizmet sistemi toplamda 30 adet oluşturulmuştur. 25 farklı hizmet sağlayıcı ile hizmet dışı 18 hata türünü çözmeyi hedef belirleyen 26 servis konsepti bu senaryolara dahil edilmiştir. Sunulan yöntemin, tasarımcıların mevcut hatalara yönelik birebir çözüm vermediğini, ancak farklı senaryoların analizleriyle ve karşılaştırmalarla yüksek oranlarda iyileştirmeler gözlemlenebileceği ortaya konmuştur [12].

2.1. Literatür Taramasının Genel Değerlendirmesi

Küreselleşme ile sayısı artan ve büyüyen işletmelerin rekabet ortamı da artmaktadır. Bu rekabet ortamında en etkili farkındalık ürettikleri ürün ya da hizmetin hatasız, sorunsuz olmasıdır. Literatürde ürünlerin hatasız olması veya bunları azaltmayı hedeflemeye yönelik Dünya’da ve Türkiye’de HTEA ve GİA’nın eş zamanlı olarak birlikte veya ayrı olarak uygulandığı görülmüştür. Ayrıca birçok sektörde uygulamalar yapıldığı tespit edilmiştir. Bunlardan birkaçı; Baş (2012), vitrifiye sektöründe bir işletmede GİA ve Uyum analizini uygulamıştır [4]. Akpınar (2015), otomotiv sektöründe GİA ve HTEA yi birlikte uygulamıştır [10]. Ayaz ve Testik (2017), çalışmasında bilgisayar sunucuları üzerinde çalışmıştır [11]. Bunlara ek olarak yine ağırlıklı olarak otomotiv, yazılım, radyatör üretimi, hazır giyim, döküm ve hizmet sektörlerinde uygulamalar görülmüştür. Günümüzde otomotiv ve üretim sektöründe bu yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak çalışmalarda bu analiz yöntemleri kullanılarak işletmelerde uygulamalarının önemli ölçüde başarı gösterdiği, hataların türlerinin önceliklendirildiği, hatalarda iyileştirmeler gözlemlendiği görülmektedir.

Mevcut literatürdeki çalışmalarda savunma ve havacılık sanayisi sektöründe spesifik olarak üretim hatalarına göre GİA ve HTEA’yı bir arada uygulayan böyle bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada savunma sanayisinde aktif rol oynayan TÜBİTAK SAGE firmasının, alt yüklenicilerine vermiş olduğu üretimler kapsamında meydana gelen hataların HTEA ve GİA yöntemleri ile detaylı analizleri sağlanıp, kalitesel anlamda iyileştirmeler sağlanması hedeflenmiştir.

3. ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)

Hata türü ve etkileri analizi birçok farklı şekilde tanımlamaları mevcuttur. Birkaç örnek verecek olursak; HTEA tanımı olarak ilk protatip üretme veya uygulama boyunca meydana gelebilecek hataların ve bu hataların neden olduğu ile ilgili yetkilendirilmiş personeller tarafından ele alınarak incelenmesini, hatanın belirlenmesini, önceliklendirilmesini, buna göre hataları minimuma indirme, iyileştirme ve geliştirme adımları ile çalışmalar yapılmasını ve sonraki üretimlerde hata meydana gelmeden önce önlemeye çalışan bir kalite güvencesi prosesidir [10, 13].

HTEA çalışması prototip üretimi veya seri üretimin devamında öngörülen hata ve problemlerin azaltılmasını ve ortadan kaldırılması sağlamaktadır. Fakat birçok hata türü için verilerin bir araya getirilmesi, ilgili birimlerden dataların alınması süreci mevcuttur ve analizlerin yapılması oldukça zaman ve uğraş gerektiren eylemdir. HTEA çalışması yapılması kararı verildiğinde, sürecin verimli bir şekilde ilerlemesi için spesifik olarak seçilen parça veya parçaların verilerini toplamak, analiz etmek çok önemli adımlardır.

HTEA'ya genel açıdan bakılarak açıklanacak olursa;

- Üretim, ürün, süreç veya proses yetersizlikleri ve hataları,
 - Problemler sonucu potansiyel sonuçlar,
 - Hata türlerinin meydana gelmesinde öngörülen sebepleri,
 - Devamlı ve döngülü kontrol uygulaması,
 - Risk belirlenmesi, seviyelendirilmesi
 - Riskleri minimize etmesi,
 - Belirli hataların tamamen süreçten ortadan kaldırılması
- gibi tüm maddelerin belirlenmesi ve nihailendirilmesi için kullanılmaktadır.

3.1.1. Hata türü ve etkileri analizi ile ilgili tanımlamalar

HTEA sürecinin verimli bir şekilde uygulanabilmesi için bazı özel tanımlamalar yapılmıştır ve bu tanımlamalar süreci daha iyi anlama, ilerletme için oldukça önemlidir. HTEA

uygulamalarında sıklıkla kullanılan temel kavramsal kelimeler aşağıda özetlenerek verilmiştir [14].

- Fonksiyon; ürün veya sürecin amacın tanımlamasını yaparak vurgular ve bu sürecin hedeflerine odaklanan olgudur.
- Müşteri; Ürünü (Nihai veya Ara ürün) satın alan aynı zamanda teslim alacağı ürün sürecindeki hizmetten etkilenen son kişidir. Herhangi bir insan, bölüm, birim veya işletme müşteri olabilmektedir.
- Hata; bir fonksiyonun istenildiği gibi yürütülememesi sonucu oluşan başarısız durumdur.
- Hata Türü; bir fonksiyonun planladığı şekilde maksimum başarı ile sonuçlanmaması durumu veya gerektiği gibi yerine getirilmemesi durumlarının tamamının katagorisel olarak adlandırılmasıdır.
- Hata Etkisi; sistemde fonksiyonun istenilen hedeflere odaklanmasına rağmen talep edilen ürünün hatalı veya yanlış olarak müşteriye yansması, hem üretici hemde müşteri açısından maddi ya da oluşabilecek manevi olumsuz durumların tamamıdır.
- Hata Nedeni; bir fonksiyonun sürecinde oluşan başarısızlık durumuna sebep olan her türlü faktördür.
- Mevcut Kontroller; fonksiyon sürecinde, sistemin içerisinde ilerleyişi izlemek, süreci devam ettirebilmek, meydana gelebilme ihtimali olan hataları farkedip süreç içindeki riskleri minimize etmek veya ortadan kaldırmak için uygulanan ana eylemlerdir. Başarısızlık durumu yaşanmaması adına yapılan mevcut kontroller sayesinde hatanın müşteriye ulaşmasına engel olan önemli basamak adımdır.
- HTEA Elemanı; HTEA kapsamında ele alınan sistem bütününe verilen isimdir. Örnek olarak hata türü, nedeni, etkisi gibi elemanlar sayılabilir.
- Şiddet (Ş); Sistem süreci boyunca meydana gelen bir hatanın, müşteriye oluşturabileceği etkinin şiddet düzeyini ifade eder.
- Olasılık (O); hatanın yaşanma ihtimaline göre derecelendirmek için verilen değerdir, buna ek olarak başka bir deyişle hata nedeninin hata türüne yol açması olasılığına eşit gösterilebilecek derecendirilen değeridir. İki farklı method bu değeri belirlemek için kullanılmaktadır. İlk methodda, bir hata türü meydana gelme ihtimalinin sayısal olarak değeri belirlenmektedir. İkinci methodda ise meydana gelme ihtimali değerinin ve bu hatanın sebebi ile aynı zamanda bunların nihayetinde ortaya çıkacak hata türünün ilişkisi

bütünleştirilip değerlendirilir. Bu olasılık değeri, diğer ikisinin ihtimal değerlendirmesi sonucu çıkan değerlerin çarpımından bulunur [15].

- Belirlenebilirlik (S); sistemde sürecinde mevcut kontroller yapılarak ihtimaller dahilinde olan hata veya hataların müşteriye varmadan engellenmesi durumuna verilen değerdir.
- Risk Öncelik Sayısı (RÖS); Şiddet (Ş), Olasılık (O) ve Belirlenebilirlik (B) verilerinin derece değerlerinin çarpımı ile bu sonuca ulaşılmaktadır. RÖS ün belirlenmesi ile birlikte sistemdeki hatalar risk önceliklerine göre sıralı olarak belirlenmektedir ve bu sıralamaya yönelik olarak düzeltici önleyici faaliyetler yapılmaktadır.
- Risk Öncelik Sayısı (RÖS)= Şiddet (Ş)x Olasılık (O)x Belirlenebilirlik (B) [14].
- Kritiklik: Bir hatanın meydana gelme olasılığı ile müşteriye ulaşmadan önce tespit edilebilme olasılığının çarpımına dayanan bir değerdir. Bu özel tanımlama, genellikle özel tanımlanmış ve kalite odaklı süreç yönetimi gerektiren hataların önceliklendirilmesinde kullanılır.
- Kritik Karakteristikler: Yasal olarak kayıt altında ve düzenlemeleri olan veya ürünün emniyetinden sorumlu kritik tanımlamadır. Kritik karakteristikler genellikle birçok faktör tarafından belirlenebilir. Örnek olarak; mahkemeler, düzenleyici kurumlar, endüstriyel standartlar, müşteri talepleri, dâhili mühendislik ihtiyaçlarıdır [16].

3.1.2. HTEA'nın avantaj ve dezavantajları

Üretim gerçekleştirilene kadar tüm süreç boyunca meydana gelecek en ufak hatadan en büyük hataya kadar hepsi müşteri talebine karşı olumsuz sonuç doğuracaktır. Müşteri bu sebeple olumsuz karşılayacak olup, farklı sonuçlar doğurabilir. Bu hataların ve olayların çözülmesi için yeniden üretim gerekebilir ki bu oldukça maliyetli ve zaman kaybına yol açacaktır. Telafi için rework yapılabilir bu yeniden üretime kıyasla daha az maliyetlidir fakat istenilen ürünün elde edilememe ihtimalleri ortaya çıkabilir. Sayılan bu sebeplerden dolayı müşteri memnuniyetini arttırmak, kalitesel açıdan güç kazanmak içi anahtar bileşen hataların çok önceden tespit edilebilinmesi ve önlemlerin alınarak minimuma indirgenmesidir. Bu sürece destek olan HTEA tekniği sık kullanılır ve önemli yere sahiptir. HTEA'nın öncelikli ve temel amaçları aşağıdaki gibi sıralanmıştır [17].

- Başarısızlık ihtimallerini, olumsuz sonuçları en düşük seviyeye indiren ürün, hizmet veya bu fonksiyonun gerekli ihtiyaçlarını geliştirmek,

- Müşteri isterlerini iyi anlayıp, bunları analiz edip gerekli birim çalışanları ile tüm süreç sürecindeki gereksinimlerini kavramak ve hataların oluşmaması için ana değerlendirmeleri yapmak,
- Hatalara sebep olma ihtimali olan ve gerçekleşen hata nedenlerinin özelliklerini nihailendirmek ve bunları işleyen sistemden çıkarmak veya sonuçları minimize etmek için analiz etmek,
- Hataların olumlu bir şekilde ortadan kaldırıldığından şüphe duymamak, bu sayede yeni yöntemler, talimatlar veya prosedürler ile gelişim sağlamak,
- Fonksiyondaki potansiyel riskleri devamlı ve döngülü şekilde kontrol etmek, takip etmek ve yönetmek,
- Müşteri memnuniyeti sağlamak ve müşteriye olumsuz etkilememesini sağlamak.

Bu hedefler ile birlikte başta müşteriler, sonra süreç içerisinde çalışan birim yöneticileri, mühendisler, uygulayıcı personeller ve işletmeler için oldukça yüksek oranlarda avantajlıdır. Avantajları çok olduğu kadar dezavantajları da mevcuttur. Bunlar listesi Çizelge 3.1’de belirtilmiştir [18].

Çizelge 3.1. HTEA’nın avantajları ve dezavantajları [18]

HTEA’nın Avantajları	HTEA’nın Dezavantajları
Ürünün üretim sürecinde zaman kayıplarını önleyerek, daha hızlı müşteriye ulaşmasını sağlar.	Çok fazla analiz, kontrol mekanizması ve değerlendirmeler gerektiğinden yorucu olabilmektedir.
Revizyon maliyetlerini azaltır.	Personel ihtiyacı doğmaktadır.
Süreç içerisinde hangi adımda ve hangi sebele hata olabileceğini saptanabilir.	Karmaşık hatalar analiz edilememe durumları vardır.
Hataların ana kaynakları tespit edilerek kalitesel süreç yönetimini sağlar.	Sürecin başarılı ilerlemesi için tecrübe ve uzmanlık gerektirir.
Üretim aşamasında teknolojisel yetersizliklerin farkına varıp, iyileştirilip geliştirilebilir.	Çevresel faktörler ve doğal olarak meydana gelebilecek hataları riskleride dahil etmek gerektiğinden analiz süreci uzun olmaktadır.
Ürünün kaliteli olmasını sağlayıp, piyasada rekabet ortamında öncelik sağlar.	
Üretici tarafından zarar edilmesini önler. Karar verme aşamalarında kolaylık yaratır.	
Müşteri memnuniyetini artırır.	
İşletme içerisinde organizasyon ve görev tanımlı sürecine katkı sağlar.	
Hurda oranı azalır.	

3.1.3. Hata türü ve etkileri analizi türleri

Hata Türü ve Etkileri Analizi türlerine bakıldığında dört ana temel kavram altında ele alınmakta olup, sırasıyla Sistem HTEA, Tasarım HTEA, Süreç HTEA ve Servis HTEA olmaktadır.

Sistem HTEA

Tasarımın henüz olgunlaşma aşamalarındayken, sistemleri bir alt sistemlerle entegre ele alınarak analize edilmesidir. Bununla birlikte sistemde var olan eksiklikleri tespit etme amacıyla ortaya çıkacak hataları ve türlerini belirlemeye odaklanmaktadır ve sistemin verimliliğini artırılmasına olanak sağlamaktadır [19].

Sistem HTEA'nın içeriğine ve sisteme sağladığı faydalarına aşağıda maddeler şeklinde ele alınmıştır.

- Olası hataların bulunabileceği alanlar minimize edilmektedir,
- Sistem içerisinde kullanılacak talimat ve prosedürlere yönelik sağlam temel oluşturulmasına imkan sağlamaktadır,
- Fazlalıkların farkına varılıp kaldırılmasına olanak sağlamaktadır,
- En uygun sistem tasarım seçeneğinin belirlenmesine rehberlik etmektedir.

Tasarım HTEA

Tasarım HTEA, üretim kararı alınmadan önce ürün üzerinde uygulanan bir yöntemdir. Bu yaklaşım, tasarım kaynaklı hataların hizmet veya üretim süreçlerinde sebep olabileceği muhtemel sorunları önceden değerlendirir. Tasarımın sürekliliğini sağlamak amacıyla sadece tasarım sürecine değil, aynı zamanda üretim, montaj, ekipman kullanımı ve müşteri kaynaklı hatalara bağlı tasarım problemlerine de odaklanır. Bu analiz yöntemi, sistem ve bileşenlerin güvenilirlik risklerini raporlar, hata türlerinin etkilerini inceler ve gerekli düzeltici önlemleri veya tasarım değişikliklerini önermektedir [10].

Tasarım HTEA iki ana yöntemle yürütülebilir:

1. Genelden detaya doğru yaklaşım: analiz süreci sistemin veya ürünün tamamının incelenmesiyle başlar ve değerlendirme, en küçük bileşenlere kadar kademeli olarak sürdürülür.
2. Detaydan genele doğru yaklaşım: Analiz, parçalar ve alt bileşenler gibi en küçük seviyelerden başlayarak kademeli olarak sistemin veya ürünün tamamına ulaşır.

Uygulamada genellikle ikinci yöntem tercih edilme sebebidir çünkü bu yöntem daha detaylı bir inceleme olanağı sunar [10, 15].

Tasarım HTEA da ortaya çıkacak olan data verileri aşağıdaki gibidir:

- Risk Öncelik Sayısına göre belirlenip dizgisel hata türleri,
- Kritik ya da önemli hata özelliklerinin belirlenmiş potansiyel listesi,
- Hata türlerini azaltmayı veya hatanın varlığını yok etmeyi hedefleyen tasarım önerileri,
- Test, inceleme ve hata önleme stratejilerine dair önerilen parametreler,
- Kritik ve önemli karakteristiklere yönelik alınması önerilen önlemlerin listesi.

Tasarım HTEA'nın avantajları şunlardır:

- Tasarım iyileştirme çalışmalarında hangi konulara öncelik verileceğini netleştirir.
- Tasarım ihtiyaçlarının ve alternatif seçeneklerin tarafsız şekilde değerlendirilmesini sağlar.
- Yapılan değişikliklerin nedenlerini detaylı şekilde kayıt altına alır.
- Ürün tasarımında doğrulama ve test süreçlerine rehberlik eder.
- Önemli ve kritik özelliklerin tespit edilmesine katkı sunar.
- Olası hata türlerini ve sistem işleyişine etkilerini tasarım aşamasında dikkate almayı kolaylaştırır.
- Potansiyel güvenilirlik sorunlarını tespit ederek ortadan kaldırılmasına imkan tanır.
- Gelişim ve iyileştirme projelerinde kullanılabilecek değerli bilgiler sağlar.

Proses HTEA

Tasarım süreci tamamlanmış bir ürünün üretim aşamasında karşılaşılabilecek potansiyel sorunların belirlenmesi ve bu sorunların oluşmasını engellemek ya da tamamen ortadan

kaldırmak amacıyla Proses Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) uygulanır. Bu analiz yöntemi, üretim sırasında karşılaşılabilecek mevcut veya olası hata türlerini inceleyerek, bunların ürün kalitesi, süreç performansı ve güvenilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirir. Süreç analizi sırasında, insan gücü, kullanılan yöntemler, makine donanımı, malzeme yapısı, ölçüm sistemleri ve çevresel faktörler gibi çok boyutlu unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır [16].

Proses HTEA'nın başlıca faydaları şu şekilde özetlenebilir [20].:

- Süreçteki eksiklikleri ve problemleri ortaya çıkararak, bu durumlara yönelik düzeltici ve önleyici eylemlerin geliştirilmesine katkı sağlar.
- Üretimde kritik veya önemli olarak değerlendirilen özelliklerin tanımlanmasına olanak tanır ve bu özelliklerin etkili bir şekilde kontrol edilmesini sağlayacak planlar oluşturur.
- Düzeltici ve önleyici faaliyetlerin önem sırasını belirleyerek kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılmasını mümkün kılar.
- İmalat, montaj ve diğer üretim aşamalarını detaylı bir şekilde analiz ederek süreçlerin iyileştirilmesine rehberlik eder.
- Süreçte yapılan değişikliklerin hangi amaçla gerçekleştirildiğini belgeler ve bu bilgilerin gelecekteki çalışmalar için referans oluşturmalarını sağlar.

Proses HTEA, genellikle insan, makine, yöntem, malzeme, ölçüm ve çevre faktörlerini kapsayan geniş bir çerçeve içerisinde yürütülür. Bu kapsamlı yaklaşım, analiz sürecinin disiplinli ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar [1, 21].

Servis HTEA

HTEA da servis anlamında hizmet olarakta adlandırılır. Müşteriye teslim olmadan önce hizmetin analiz edilme sürecidir.

Bu analizde, araştırma ve geliştirme faaliyetleri, hizmetteki ilk ilerleyiş basamakları, nelerin yapılacağı ve süreçteki hangi revizyonların gerektiğini içermektedir. İş ve yönetim planlaması için ihtiyaç duyulan iş akışı rehberlerini, verimli sistemleri, süreç analizlerini ve kritik görevler ile hataların tespitini destekler.

3.1.4. Hata türü ve etkileri analizinde uygulama süreci

Hata türü ve etkileri analizinde uygulama süreci öncesi dikkat edilecek hususlar

HTEA uygulaması kararı alınmasıyla beraber süreçlerden önce, bu süreci yürütecek çalışma ekibi personellerine yöntemle ilgili ana bilgiler aktarılmalıdır. Bilgilendirme, yöntemle hakim bir uzman tarafından yapılmalı ve eksiksiz ve doğru bir şekilde uygulamanın gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

Hata türü ve etkileri analizinin başlangıç çalışmaları

Uygulamaya başlarken yapılması gereken adım adım hazırlık aşamalarından geçmektedir. Bu aşama üç farklı kapsamda detaylandırılmaktadır;

- HTEA kapsamının belirlenmesi
- HTEA ekibinin kurulması
- HTEA yapılacak sistem, tasarım, prosesin analize edilmesi

HTEA kapsamının belirlenmesi

HTEA uygulamasına başlamadan önce, analizin sınırlarının ve hedeflerinin net bir şekilde tanımlanması kritik önem taşır. Bunlar tanımlanmadığında gereksiz alanlarda zaman kaybı yaşanabilir ve asıl odaklanılması gereken sorun gözden kaçabilir. Bu bağlamda, HTEA'nın kapsamı; analizin amacı, analiz edilecek sistemin genel tanımı ve özellikleri, uygulama ekibi üyelerinin görev ve sorumluluklarını detaylı bir şekilde açıklayan yazılı bir doküman olarak hazırlanmalıdır. Hazırlanan dokümanın açık, anlaşılır bir dille yazılması ve uygulama ekibinin tüm üyeleri tarafından onaylanması, sürecin etkin bir şekilde ilerlemesini sağlamak açısından büyük önem taşır [1, 20].

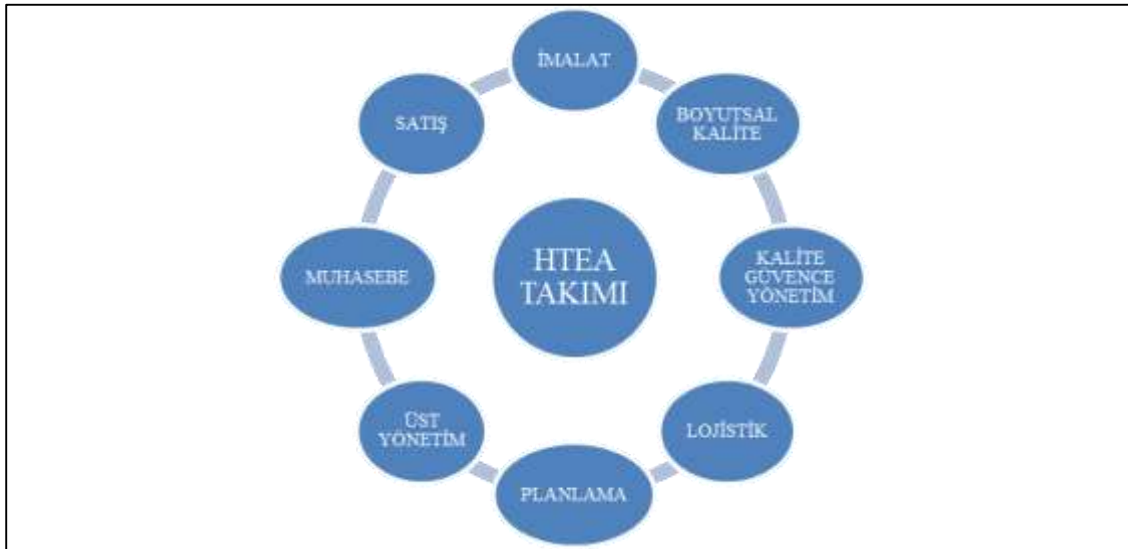
HTEA kapsamı, uygulama ekibinin oluşturulmasından sonra süreç ihtiyaçlarına göre yeniden düzenlenebilir ve güncellenebilir. Uygulama kapsamının belirlenmesi sürecinde genellikle iki farklı yaklaşım benimsenir:

- Sistem tüm aşamalarıyla birlikte ele alınır ve analiz, süreç ilerledikçe kademeli olarak gerçekleştirilir.
- Sistem içerisindeki yüksek risk taşıyan belirli aşamalara odaklanılır ve öncelikli olarak bu bölümler analiz edilir.

Eğer ele alınan sistem karmaşık bir yapıya sahipse, HTEA kapsamı belirlenirken sistemin daha küçük alt sistemlere veya bileşenlere ayrılması gerekir. Bu şekilde bir yapılandırma yapılmadığı takdirde, analiz süresi uzayabilir ve uygulama verimliliği düşebilir [13].

HTEA ekibinin kurulması

HTEA yapılabilmesi için mutlaka bir ekip oluşturulması gerekmektedir. Tek başına gerçekleştirilmemesi gereken bir analizdir. Aksi halde, doğru bir değerlendirme sağlanamayacak olup, yetersiz bir çalışma verisi ortaya çıkabilmektedir. Ekip oluşturulurken ise her birimden farklı üyeler olmakla beraber deneyimleri farklı alanlarda uzmanlaşmış insanları bir araya toplamak en yararlı ve sağlıklı ekibi oluşturmada fayda sağlamaktadır. Bu takımda en önemli kişi ise sorumluluk alan, diğer çalışanları yönetip, iş dağılımı yapan takımın lideridir. Gerekli durumlarda üst yönetimde bulunan kişilerinde HTEA uygulamasına katılması gerekmektedir. Ekipte özellikle kalite güvence yönetim biriminden ve ilgili mühendislik dallarında çalışanlardan kişilerin bulunması sağlanmalıdır.



Şekil 3.1. HTEA takımı [22]

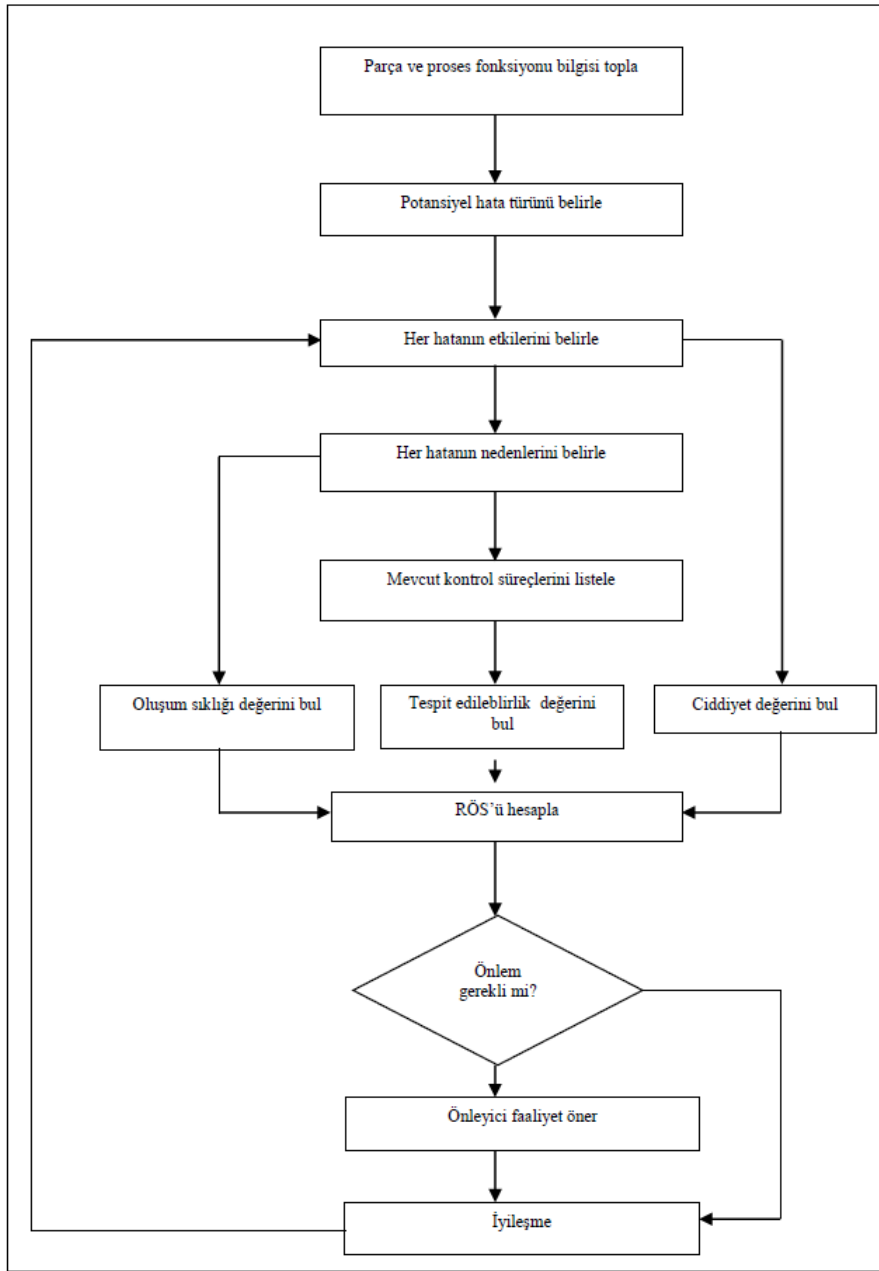
Ekip kurulduktan sonra bu ekibin mutlak amaçları bulunmaktadır. Mümkmn olduğunda zaman kaybetmeden çalışan insanların uyumluluğu yakalaması ve eş zamanlı çalışması önem taşımaktadır. Tecrübeli kişilerin deneyimlerinden ve kayda değer fikirlerinden yararlanılması amaçlanmıştır. Farklı fikirlerinde tartışılarak ve ortak karara varılarak ilerlenmesi sağlanmalıdır. Birimlerin birbirleriyle uyum içerisinde ilerlemesi de karşılaşılan problemlerde zaman kaybetmeden sonuca varılarak devam edilmesi gerekmektedir [23].

Takım lideri ile birlikte oluşturulmuş olan takım, HTEA uygulaması nihaileştirilene kadar amaca bağlı olarak uygulama içerisinde kalarak günlük toplantılar yaparak süreci devam ettirmelidir. Fakat bu süreç iki ayı geçmeyecek şekilde tamamlanmalıdır [24].

HTEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin incelenmesi

HTEA uygulamasında başarı sonuçlar elde edebilmek için sistem ile ilgili detaylı verilerin bilgilerin olması gerekmektedir. Bu bilgiler daha önce gerçekleştirilmiş uygulamalardan, tamamlanmış analizlerden, rapor sonuçlarından, standartlar vb. datalardan toplanabilmektedir. Toplanan bilgiler ile verilerin ve analiz sonuçlarının tablo, çizelge ve diyagramlar gibi görsel araçlarla belgelenmesi, uygulama ekibi üyelerinin ele alınan sistemi daha kolay anlamalarını ve analiz süreçlerini daha yararlı bir şekilde yürütmelerini sağlar. Görsel sunumlar, karmaşık bilgilerin basitleştirilmesine yardımcı olur ve ekip üyeleri arasında ortak bir anlayış geliştirilmesine katkıda bulunur [25].

Analizi yapılacak sistemin her bir bileşeni ve bu bileşenlerin hangi amaçlara hizmet ettiği net bir şekilde tanımlanmalıdır. Sistem bileşenlerinin görevleri, işlevleri ve karakteristik özellikleri ne kadar ayrıntılı ve açık bir biçimde ifade edilirse, mevcut veya potansiyel sorunların tespit edilmesi o kadar kolay ve doğru bir şekilde gerçekleştirilir. Ayrıca, sistemin fonksiyonlarının detaylı olarak incelenmesi, hataların kök nedenlerine inme ve çözüm yollarını belirleme sürecini hızlandırır [1].



Şekil 3.2. HTEA süreci [26]

HTEA süreci hatalara yönelik çalışmalar

Başlangıç çalışmaları tamamlanmasının ardından sistemdeki hatalar hakkında detaylı ele alınacaktır. Hataların irdelenmesi süreci genellikle HTEA uygulaması başladığında sürecin içerisinde yönelilir. Hatalar adına yapılacak çalışmalar kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmalar; olası hataların çeşitleri, bu hataların etkilerinin ve sebeplerinin belirlenmesi ile olası hataları belirleyebilmek için gerçekleştirilen kontrollerin belirlenmesi olarak ele alınmaktadır [20].

Olası hata türlerinin belirlenmesi

Olası hata türleri ve bu türlerin belirlenmesinde kullanılan yaklaşımlar, özellikle HTEA süreçlerinde büyük önem taşır. Olası hata türü, genellikle hatanın nasıl ortaya çıktığına dair sürecin tanımını ve bu hatanın sistemin genel işleyişine, performansına veya işlevselliğine olan etkisini içermektedir. Bu tanımlama, hatanın fiziksel, işlevsel veya estetik boyutlarda nasıl bir problem oluşturduğunu ve bu durumun sistemin hedeflenen performans kriterlerini nasıl etkilediğini açıklamayı amaçlamaktadır. Hatanın kaynağı, ortaya çıkış şekli ve sonuçları bu bağlamda detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. HTEA takımının cevaplaması gereken temel sorular aşağıdaki unsurlara odaklanmaktadır [16];

- Ürün, sistem veya süreçte ne tür sorunlar oluşabilir?
- Parça ya da sistem hangi koşullarda beklentileri karşılayamaz?
- Müşteri, belirlenen mühendislik kriterlerinden bağımsız olarak ürünle ilgili itiraz edebileceği noktalarla karşılaşabilir mi? Başka bir deyişle, müşterinin ürünle ilgili deneyiminde rahatsızlık yaratabilecek, şikayete yol açabilecek veya beklentilerini karşılamayan herhangi bir eksiklik söz konusu mudur?
- Üretim sürecinde yer alan bir sonraki veya daha sonraki operatör, ürünün hangi yönlerini hatalı veya kabul edilemez olarak değerlendirebilir? Operatörlerin bakış açısı, ürünün veya sürecin kalitesini, güvenilirliğini ya da işlevselliğini etkileyen detayların belirlenmesinde önemli bir rol oynar.
- Son kullanıcıya, yani müşteriye gelince, bu kişi hangi özellikleri eksik, yetersiz veya kabul edilemez bulacaktır? Müşterinin memnuniyetsizlik yaratabilecek unsurlarını anlamak, HTEA sürecinde kritik bir öneme sahiptir.

HTEA ekip lideri ile birlikte takım, olası hata çeşitlerini saptarken başvurabileceği herhangi diğer yaklaşım, ürünün veya sistemin belirli performans kriterlerini yerine getirme durumunun analiz edilmesidir. Bu kriterler; ürünün performansı, bütünlüğü, istenilen zamanda kullanılabilirliği, güvenilirliği, dayanıklılığı, kullanım ömrü ve estetik özellikleri gibi unsurları içerebilmektedir. Bu özelliklerin bir ya da birkaçının eksikliği, sistemin veya ürünün hatalı olduğunu işaret etmektedir.

Özetlenecek olursa, HTEA çalışmaları sırasında, ürünün veya sistemin arzu edilen özelliklerinin yerine getirilip getirilmediği dikkatlice değerlendirilmelidir. Eğer olması

gereken bir özellik bekleneni karşılamıyorsa, bu durum bir hata olarak tanımlanabilir ve düzeltilmesi gereken bir konu olarak ele alınacaktır.

Hata türlerini belirlemek için aşağıda verilen verilerden yararlanılmaktadır [15];

- Müşteri geri bildirimleri,
- Simülasyon veya test raporları,
- Garanti kapsamındaki datalar,
- Güvenilirlik analiz raporları,
- Benzer yapıdaki ürün veya sistem verileri, analiz sonuçları.

Olası hata etkilerinin belirlenmesi

Hataların sonuçları, genellikle "etki" olarak adlandırılır ve bu etkiler, hatanın sistem veya müşteri üzerinde oluşturduğu sonuçları ifade etmektedir. Olası hata etkisi, bir hata türünün gerçekleşmesi durumunda müşterinin bu duruma nasıl tepki vereceğini ve bu durumun müşteri memnuniyeti, güveni veya algısı üzerindeki etkisini tanımlamaktadır. Bu bağlamda, müşteri tarafından verilecek tepki, ürünün ya da sürecin temel beklentileri karşılayıp karşılamadığına bağlı olmaktadır.

Potansiyel hataların etkilerini belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Örneğin, ekip üyeleri arasında yapılan “Beyin Fırtınası” oturumları, farklı bakış açılarından olası etkilerin tartışılmasını sağlayabilmektedir [1].

Olası hata nedenlerinin belirlenmesi

Hataların ortaya çıkmasına neden olan temel faktörler, kök sebepler olarak tanımlanmaktadır. Bu sebeplerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında balık kılçığı diyagramı, beyin fırtınası ve 8D raporları yer almaktadır. Kök nedenlerin tespiti, hatanın tekrarını önlemek için alınacak önlemlerin doğru bir şekilde planlanmasında kritik bir rol oynamaktadır [1].

Kök sebep analizi yapılırken “Mevcut ya da olası hatanın kaynağı nedir?” sorusuna odaklanılır. Bu süreçte dikkat edilmesi gereken temel noktalar şunlardır [16]:

- Her hata türünün bir veya daha çok kök nedeni olabilmektedir.

- Tek bir kök sebep, birden fazla hatanın oluşmasına yol açabilmektedir.
- Hatalar genellikle birden fazla faktörün bir araya gelmesiyle ortaya çıkmaktadır.

Bu yaklaşım, hataların nedenlerini derinlemesine anlamayı ve bunların önüne geçmek için etkin çözümler geliştirmeyi sağlamaktadır.

Mevcut kontrollerin belirlenmesi

Mevcut kontroller, olası hata türlerinin oluşmasını engellemek veya bu hatalar gerçekleştiğinde müşteriye olan olumsuz etkileri en aza indirmek amacıyla gerçekleştirilen önlemler ve uygulamalardır. Bu kontroller, işletme süreçlerinde hataları önceden fark etmek ve bu hatalara karşı hızlı bir şekilde çözüm geliştirmek için kritik bir rol oynamaktadır [27]. İşletmede kullanılan mevcut kontroller, genellikle “Mevcut ya da olası hata nasıl tespit edilir veya edilecektir?” sorusuna yanıt arayarak belirlenmektedir. Bu soruya verilen yanıtlar, süreçlerde hangi kontrol mekanizmalarının etkili olduğunu anlamayı ve geliştirmeyi sağlar [28].

Çoğu durumda, bu kontroller sırasında süreçler sistematik bir şekilde izlenir ve analiz edilir. Proses kontrolleri aracılığıyla hataların kaynağına ulaşılır ve oluşma ihtimali olan problemler erken aşamada tespit edilerek giderilir. Bu, hem ürün kalitesini artırır hem de müşteri memnuniyetsizliğinin önüne geçer [16].

Sonuç olarak, mevcut kontroller, yalnızca hataların tanımlanması değil, aynı zamanda işletme süreçlerinin genel verimliliğini artırmak ve kalite yönetimini güçlendirmek için vazgeçilmez bir unsurdur.

Hata türlerinin değerlendirilmesi

Olası hata türleri, etkileri, nedenleri ve mevcut kontroller belirlendikten sonra, bir sonraki adım, bu hataların işletme üzerindeki kritik önemine göre sıralanması ve değerlendirilmesidir. Tüm hatalarla aynı anda çözüm bulmak, çabalamak yerine, hataları sıralamak adına işletme için önceliklendirilmektedir ve istenilen hedefe ulaşılabilir. Böylece, işletme, her bir hataya uygun düzeyde kaynak ayırarak, en kritik sorunları öncelikli olarak çözmeye odaklanmaktadır. HTEA süreci ilerledikçe ve hataların öncelikleri zamanla

değiştikçe, nihai hedef olan mükemmelliğe ulaşmaya adım adım daha kolaylıkla yaklaşabilmektedir [1, 29].

Bu değerlendirme sürecinde, her bir olası hata türü, risk temelli bir yaklaşım kullanılarak kritiklik açısından derecelendirilir. MIL–STD 1629A'ya göre, kritiklik, "Hata türünün meydana gelme sıklığının, sonuçlarının göreceli ölçüsüdür" şeklinde tanımlanır. Yani, bir hatanın ortaya çıkma olasılığı ve bu hatanın yol açacağı olumsuz etkilerin büyüklüğü, hatanın kritikliğini belirler. Kritiklik değeri, risk faktörlerine ait olasılıklar esas alınarak hesaplanır. Uygulamada ise, analiz ve değerlendirme süreçlerini kolaylaştırmak amacıyla bu değer sayısal bir büyüklük olarak ifade edilir ve olasılık yerine sayısal derecelendirmelerle değerlendirilir. Bu yöntem, karar alma süreçlerini daha hızlı ve pratik hale getirir, böylece daha etkin bir hata yönetimi sağlanır [15].

Yukarıda bahsedildiği gibi kritiklik katsayısı yani RÖS değerleri büyükten küçüğe sıralanarak RÖS değeri en büyük olan hatanın analiz edilmesiyle başlanmaktadır. Çizelge 3.2'de olasılık, şiddet ve farkedilebilirlik katsayıları sayesinde meydana gelme ihtimali, önemi ve fark edilmesini 1 ile 10 arasında değişen sayısal değerler ile belirlediği gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik derecelendirme ölçeği

Puan	Terim	Olasılık	Şiddet	Saptanabilirlik
1	Çok düşük	Hata meydana gelmesi ihtimaller dahilinde değildir.	Hata çok kritik değildir.	Hatalar farkedilecektir.
2-3	Düşük	Çok düşük ihtimallerde hata oluşabilir.	Hata etki etmeye başlar.	Hata fark edilme oranı yüksektir.
4-6	Orta	Hataların oluşması muhtemeldir.	Hata giderek ciddiyet kazanmaktadır.	Hataların fark edilme seviyesi giderek azalmaktadır.
7-8	Yüksek	Hatanın oluşması yüksek ihtimaldir.	Hatanın sonucunda muhtemel kötü etkiler meydana gelebilir.	Hataların farkedilmesi düşük ihtimaldir.
9-10	Çok yüksek	Hatalar meydana gelecektir	Hatalar çok kritik olup, kötü sonuçlar doğurabilir.	Hatalar fark edilmeyecektir.

Saptanabilirlik sayısal değeri tabloda gösterildiği gibi olasılık ve şiddete kıyasla 1'den 10'a doğru azalarak devam etmektedir [30]. Hata türlerinin değerlendirilmesi için aşağıdaki gibi alt başlıkları olarak ele alınacaktır.

- Oluşum sıklığı
- Şiddeti
- Tespit edilebilirlik
- Risk öncelik sayısı konuları ele alınmaktadır.

Oluşum sıklığı değerlerinin belirlenmesi

HTEA uygulamalarında mevcut veya potansiyel hataların olasılığı hesaplanabilmesi için ilk bakılacak olan hata türünün oluşma olasılığının analiz edilerek değerlendirilmesi ve buna göre olasılık derecesi hesaplanmasıdır. Bir sonraki aşaması hata türü ve kök nedeni eş zamanlı olarak değerlendirilerek; iki olasılığın çarpımı ile toplam olasılık hesaplanmaktadır. Hata kök sebebi belirlenmesi ile bu sebepten gerçekleşmesi durumunda hatanın da meydana geleceği varsayılmaktadır. Olasılık derecesi, hataların oluşum sıklığına göre 1-10 arasında bir puanla belirlenir. Bu değerlendirme, mevcut hatanın frekansı ve HTEA takımında bulunan her bireyin tecrübeleri sayesinde belirlenebilmektedir. Göstermektedir [16].

Şiddet derecesinin belirlenmesi

Şiddet, mevcut ya da olası bir hata türünün işletmeye geri dönüşlerinin tamamıdır. Bu geri dönüşler, sistemde, üründe veya müşterideki olumsuz ve başarısızlık ile ölçülebilen bir veridir. Hata etkisi ile ciddiyeti arasında doğrusal oranda bir bağlantı bulunmaktadır.

Şiddet puanı, tablo 1’de gösterildiği gibi 1 ile 10 arasında bir sayısal ölçek kullanılarak puanlanır. Bu derecelendirme sırasında, müşteri geri bildirimleri, süreçte tutulan veriler ve HTEA takımındaki tüm kişilerin uzmanlık bilgileri temel alınmaktadır. Şiddet seviyesi, kontrol mekanizmalarından etkilenmemektedir. Bir hata türünün birden fazla etkisi bulunabilir bu sebepten dolayı her bir etki ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir [1].

Tespit edilebilirlik değerinin belirlenmesi

Tespit edilebilirlik, mevcut kontroller planlanarak ve uygulanarak hatanın oluşmadan veya oluşuktan sonra bile fark edilerek, müşteriye ulaşmasını ve etki etmesini engelleme değeridir. Tespit edilebilirlik değerini hesaplarken, geçmiş uygulamalarda verilerinden, takımdaki üyelerin tecrübelerinden, sistem içerisinde iç denetlemelerinden, planlanan kontrollerden faydalanılmaktadır [10].

Risk öncelik sayısının hesaplanması

Risk Öncelik Sayısı (RÖS), oluşum sıklığı derecesi (O), şiddet (Ş) ve tespit edilebilirlik (T) değerleri kullanılarak ortaya çıkan sayısal bir sonuçtur. RÖS özellikle hata türlerinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. RÖS hesaplanabilmesi için iki farklı formül kullanılabilmektedir. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

• Risk Öncelik Sayısı = Olasılık * Şiddet * Tespit Edilebilirlik ($RÖS = O * Ş * T$)

• Risk Öncelik Sayısı = Olasılık + Şiddet + Tespit Edilebilirlik ($RÖS = O + Ş + T$)

RÖS değerinin hesaplanmasından yaygın olarak çarpma işlemi kullanılmaktadır [31].

HTEA formu

HTEA uygulamasının her sürecini takip etmek, kayıt altında tutmak süreci daha kolay ilerletebilmek için her işletme için kendilerine özgü HTEA formu kullanılmaktadır. Her ne kadar farklı formlar kullanılsada bu formda aşağıda verilen Çizelge 3.3'te detayların bulunması gerekmektedir [1].

Çizelge 3.3. HTEA formunda olması gereken unsurlar

HTEA Formunda Bulunması Gereken Veriler		
HTEA türü	HTEA için verilen takip numarası	Revizyon numarası
HTEA takım lideri	HTEA tarihi	Süreç aşamaları
Potansiyel hata türü	Potansiyel hata etkileri	Potansiyel hata nedenleri
Şiddet	Olasılık sıklığı	Tespit edilebilirlik
RÖS	Mevcut kontroller	Önleyici faaliyetler
Önleyici faaliyet sorumlusu	Yeni tespit edilebilirlik	Yeni şiddet
Yeni oluşum sıklığı	Yeni RÖS	

Risk öncelik sayısının değerlendirilmesi ve düzeltici önlemlerin belirlenmesi

HTEA takımının belirlediği hata değerlerine göre ortaya çıkan RÖS değerleri doğrultusunda sıralandırılan hata türlerinden hangileri daha kritik analizi yapılarak buna göre hangi hatalara ne önlemler alınacağına karar verilmektedir [1]. Çizelge 3.4'te hatanın şiddet değerlerin

gösterildiği gibi 10 ise RÖS değeri 40'a eşit ve 40 üzeri olması durumunda önlem alınması için aksiyona geçilmelidir.

Çizelge 3.4. Şiddet-RÖS karşılaştırması

Şiddet	RÖS değeri
10	40
8-9	90
5-6-7	120
1-2-3-4	150

RÖS değerine göre risk ve önlem değerleri aşağıdaki gibi olmaktadır [32].

- $RÖS \leq 40$ Risk Yok
- $40 \leq RÖS \leq 100$ Risk Belirsiz
- $RÖS \geq 100, O \geq 9, Ş \geq 9, S \geq 9$ Risk Var

Çıkan sonuçlara göre riskler hesaplandığında, buna göre düzeltici önleyici faaliyetlerin başlatılması gerekmektedir. Hataları ortadan kaldırmak veya en aza düşürmek amacıyla yapılmaktadır. Önlemler arasında en yaygın olarak eğitim uygulaması vardır. Bununla birlikte planlar yapılmalı, talimat ve prosedürlerin yayınlanıp ilgili personellerin bu doğrultuda eğitilmesi gerekmektedir. Mevcut kontrollerin sıklığı artırılabilir. Daha güvenli çevre şartları oluşması için toplantılar yapılarak, uygulamaya koyulabilmektedir. Belirlenen önleyici faaliyetler doğrultusunda güncel RÖS değeri hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda riskin azalması ön görülmektedir [16, 20].

3.2. Gri İlişkisel Analiz (GİA)

Günümüzde bilim ve teknoloji alanındaki gün geçtikçe ilerleyen gelişmeler, büyük ölçüde bilimsel araştırmaların ilerlemesine paralel olarak şekillenmekte ve bu durum, geniş bir perspektifte açıkça gözlemlenebilmektedir. Özellikle disiplinler arası araştırmalardaki ivmelenme ve birçok bilimsel teoremin giderek daha fazla kabul görüp güçlenmesi, bu gelişim sürecine önemli bir hız kazandırmıştır. Bu bağlamda, belirli alanlara özgü yöntem ve uygulamaların daha yoğun şekilde kullanıldığı ve daha önce yeterince derinlemesine çalışılmamış bilimsel konuların disiplinler arası yaklaşımlar çerçevesinde ele alınmaya başlandığı görülmektedir [28].

Bu gelişmelerin temelinde, bilimsel teori ve yöntemlerin uygulamaya geçirilmesi sırasında ortaya çıkan yeni ve dinamik ihtiyaçların yatmakta olduğu söylenebilir. Modern bilimin hızla ilerlemesi ve bu ilerlemenin toplumsal ihtiyaçlar üzerindeki etkisi, sistem biliminin önemini her geçen gün artırmaktadır. Sistem bilimini, farklı belirsizlik seviyelerine göre sınıflandırmak, karmaşık ve belirsiz sistemlerde karşılaşılan problemlerin çözümünde önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Karmaşıklık ve belirsizliğin üstesinden gelmek amacıyla kullanılan etkili yaklaşımlardan biri de Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemidir. Bu yöntem, özellikle belirsizlik ve karmaşıklık düzeylerinin yüksek olduğu durumlarda, analitik ve sistematik bir bakış açısı sunarak sorunların çözümüne katkı sağlamaktadır [10, 28].

Bu yaklaşımda “gri” terimi, eksikliği veya net olmayan durum olarak adlandırılır. Bu yaklaşıma istinaden bilginin net ve kesin şekilde tanımlanabildiği veya bilindiğinde buna beyaz sistem olarak ifade edilmektedir. Bu bilginin hiçbir durumda bilinmediğinde ise siyah sistem adı ile ifade edilmektedir. Bu iki net olan tanımlar arasında belirsizliği ifade eden durumlarda ise gri sistem adı ile literatürde tanımlanmaktadır [33, 34]. Çizelge 3.5’te gri, siyah ve beyaz durumları detaylı şekilde tanımlanmıştır.

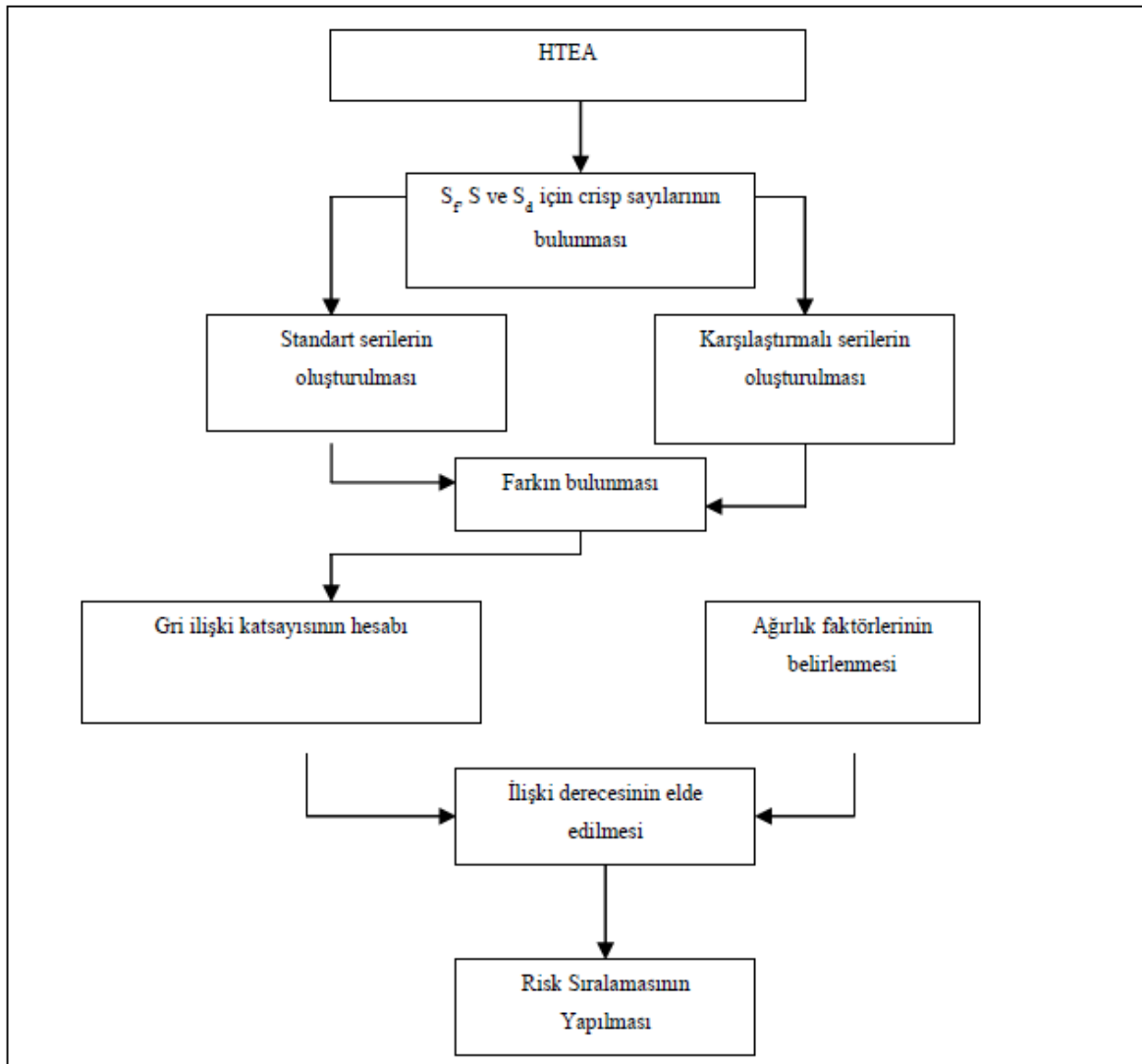
Çizelge 3.5. Siyah, gri ve beyaz sistemlerin kıyaslanması [35]

	Siyah	Gri	Beyaz
Bilgi	Kesin bilinmeyen	Eksik	Kesin bilinen
Görünüm	Karanlık koyu	Gri	Açık berrak
Süreç	Yeni	Eskinin yeni ile değişim	Eski
Özellik	Kaos	Güçlük	Düzenli
Metodoloji	Negatif	Değişim	Pozitif
Davranış	Hoşgörülü	Toleranslı	Ciddiyet
Sonuç	Çözüm Yok	Çözüm seçenekli	Bir çözüm

3.2.1. Gri teori yaklaşımı

Gri Sistem Teorisi, ilk kez 1982 yılında Deng tarafından ortaya konmuş ve zamanla geliştirilmiştir. Bu teori, bir sistemin operasyonel süreçleri ve davranışlarıyla ilgili bilgilerin ne tamamen açık ne de tamamen bilinmez olduğu durumları ele alır. Gri Sistem Teorisi’nin temel amacı, sistemlerin davranış dinamiklerini, ilişkisel analiz yöntemlerini ve modelleme tekniklerini kullanarak belirsizlikler içinde öngörülerde bulunmaktır [26].

Bu yaklaşım, bilgi eksikliklerine rağmen mevcut verilerden anlamlı sonuçlar çıkarmayı hedefler ve bu nedenle özellikle eksik veya sınırlı veri setleri ile çalışılan alanlarda etkili bir araç olarak öne çıkar. Ayrıca, karar verme süreçlerine yönelik bir çerçeve sunarak, belirsizlikler ve eksiklikler içeren durumlarda bile doğru ve tutarlı seçimler yapılabilmesini sağlamaya odaklanır. Gri Sistem Teorisi, sistemlerin davranışlarını anlamlandırmak ve tahmin etmek için önemli bir metodolojik altyapı sunarken, karmaşık ilişkilerle dolu problemleri çözmek için de yenilikçi bir bakış açısı geliştirmiştir [10, 26].



Şekil 3.3. Gri teori akış diyagramı [26]

Şekil 3.3'te yer alan şemada, hata türlerini önceliklendirmek için uygulanan gri teori yaklaşımının genel bir özetini sunmaktadır. Bu yöntemin başlangıç adımı, hata türlerini değerlendirmek üzere şiddet, olasılık ve saptanabilirlik faktörleri için uygun üyelik

fonksiyonlarının tanımlanmasıdır. Bu üyelik fonksiyonları, her bir faktörü ifade etmek için kullanılacak dilsel değişkenlerin belirlenmesine olanak sağlar.

Her bir dilsel değişken, genellikle farklı terimle temsil edilir. Örneğin, bir hata türünün şiddeti “çok düşük,” “düşük,” “orta,” “yüksek” ve “çok yüksek” gibi terimlerle ifade edilebilir. Sürecin ilk aşamasında, beyin fırtınası yöntemi kullanılarak tüm olası hata türleri ve bu hataların nedenleri sistematik bir şekilde belirlenir. Bu adım, hata kaynaklarının ve etkilerinin geniş bir perspektiften ele alınmasını sağlar. Bu terimlerin her biri, daha sonra kesin sayılarla eşleştirilir. Bu işlem sonucunda, ifadelerin sayısal olarak formülize aşamalarını belirleyip, hata türlerinin analiz edilebilmesi için uygulanacak analitik sistematik alan ortaya çıkmaktadır. Daha sonra karşılaştırmalı seriler ve standart serilerle birlikte matematiksel matris ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan matrislerin farkı hesaplanır ve bu fark gri ilişki katsayısını hesaplamak için kullanılacak en önemli formül olmaktadır. Sistemdeki gri ilişki derecesini hesaplayabilmek için gri ilişki katsayısı ve sayısal veriler değişkenler kullanılmaktadır. Bu gri ilişki derecesi HTEA ile bütünleştirildiğinde hata türlerini önceliklendirme, istenilen sıralamayı yapabilmek için kullanılır [10, 26].

3.2.2. Gri ilişkisel analizin amacı

Sistemlerin temel yapısını ve işleyişini şekillendiren faktörler arasında belirgin ortak noktalar bulunur. Bu ortak özellikler, söz konusu sistemlerin nasıl çalıştığını ve zaman içinde nasıl bir gelişim gösterdiğini anlamak için önemli ipuçları sunar. Bu faktörlerin sistem içerisindeki mevcut durumlarını ve etkilerini değerlendirmek amacıyla genellikle sistem analizi yöntemine başvurulur.

Sistem analizine dayalı teorik yaklaşımlar, sınırlı miktardaki veriden maksimum düzeyde bilgi elde etme imkânı sunarak, sistemin potansiyelini daha etkili bir şekilde ortaya koyabilir. İstatistiksel yöntemler arasında yer alan regresyon analizi, faktör analizi ve temel bileşenler analizi gibi teknikler, sistem analizi süreçlerinde yaygın olarak kullanılan nicel yöntemlerdir. Ancak, bu tür yöntemlerin uygulanmasında birtakım sınırlamalar ve zorluklarla karşılaşılabilir [35]. Gri ilişkisel analiz uygulamalarında ise çoğu zaman nitel ve nicel analiz arasında belirleyici çalışma sağlayarak bir uyum yakalar bu sayede sistemin doğru seçim

yapmasını ve ilerlemesinde rol oynar. Kısaca amaçlardan aşağıdaki gibi değinilmiştir [37, 38].

- Gri ilişkisel analiz de diğer tekniklere göre daha az miktarda veri girişi ve örneklemelerle istenilen iyi ve daha doğru öncelik sıralamasıyla sonuç vermektedir.
- Çok ufak çaplı bir örnekleme kapsamı dahilinde belirsizlik altında gri sistem oluşturulmasına imkan sağlamaktadır.
- Mevcut çalışma ortamlarında gri ilişkisel analiz belirli olan tüm durumların bir sistem içerisinde bütünsel anlamda bağlamları net ve kesin şekilde ifadelendirmek için kullanılmaktadır.
- GİA'yı sistemler arasındaki bağlamların sebeplerinin en temelini ana kaynağını ve onların derecelendirmiş seviyede değerlerine nihai sonuca varmak, karar vermek için kullanılmaktadır.

3.2.3. Gri ilişkisel analizin avantajları

Gri ilişkisel analiz modeli, sistemlerin ölçüm ve değerlendirilmesi için etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu model, gri sistem teorisinin temel prensiplerine dayanmaktadır. Gri sistem teorisine göre, gri ilişkisel analiz aşağıdaki ilkelere bağlı olarak çalışmaktadır [36, 37].

Model Yapısı: Gri ilişkisel analiz, doğrusal olmayan ve işlevsel olmayan modeller üzerinde çalışmaya olanak tanımaktadır. Bu sayede farklı yapıdaki sistemler için esnek bir değerlendirme imkânı sunmaktadır.

Kolay Hesaplama Süreci: Uygulama yöntemleri oldukça basit ve pratik olmaktadır. Karmaşık matematiksel süreçler gerektirmemekte ve kullanıcı dostu bir analiz imkânı sağlamaktadır.

Örneklem Gereksinimleri: Bu model, örnekleme miktarıyla ilgili olarak katı kural ve varsayımlara ihtiyaç duymamaktadır. Örneklem büyüklüğü sınırlı olsa dahi etkili sonuçlar elde edilebilmektedir.

Olasılık Dağılımı Koşulu: Verilerin olasılık dağılımlarının normal dağılım özelliklerini taşıması şart olmamaktadır. Bu durum, yöntemin geniş bir veri seti yelpazesi üzerinde uygulanabilirliğini artırmaktadır.

İlişki Derecesinin Analizi: Veriler arasındaki ilişki düzeyi, sayısal olarak karmaşıklıktan uzak bir şekilde incelenebilmektedir. Bu da hızlı ve kolay bir şekilde sonuçlara ulaşmayı mümkün kılmaktadır.

Gri ilişkisel analiz yöntemi, sınırlı ve az sayıda veri setiyle bile etkili bir şekilde çalışabilmektedir. Sistem içerisindeki önemli unsurların belirlenmesi için oldukça işlevsel bir analiz tekniği olarak değerlendirilmektedir. Az miktarda veriyle dahi yüksek performanslı sonuçlar elde edilmesi, bu yöntemi özel kılan en önemli avantajlardan biri olmaktadır [38].

Sonuç olarak, gri ilişkisel analiz modeli hem esnekliği hem de pratik uygulanabilirliği sayesinde geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır. Özellikle, sınırlı veri koşullarında etkili bir analiz yöntemi olarak dikkat çekmekte olup ve sistemlerin kritik unsurlarını belirlemede başarılı bir araç sunabilmektedir [39].

3.2.4. GİA matematiksel uygulama aşamaları

Gri İlişkisel Analiz (GİA), bir sistemdeki her bir faktör ile referans alınan faktör serisi (karşılaştırma ölçütü) arasındaki ilişki düzeyini belirlemek için kullanılan bir yöntem olmaktadır. Bu yöntemde, analiz edilen her bir faktör, bir dizi (satır veya sütun) olarak ifade edilmektedir. Faktörler arasındaki etkileşim düzeyi ise "gri ilişkisel derece" olarak adlandırılmaktadır [40].

Bu yöntemin temel amacı, alternatiflerin performanslarının karşılaştırılabilir bir şekilde değerlendirilmesidir. GİA'nın uygulanmasında ilk adım, tüm alternatiflerin performans değerlerinin belirli bir ölçekte karşılaştırılabilir hale dönüştürülmesidir. Bu dönüşüm işlemi tamamlandıktan sonra, analiz için temel alınan standart (referans) değerler elde edilmektedir. Bir sonraki aşamada, standart değerler ile karşılaştırılabilir performans değerleri arasındaki gri ilişkisel katsayılar hesaplanır. Son aşamada ise bu katsayılar kullanılarak, tüm faktörlerin karşılaştırılabilir değerleri ile standart değerler arasındaki gri ilişkisel dereceler belirlenmektedir [28, 41]. Bu şekilde, analiz edilen sistemdeki faktörler arasındaki etkileşim düzeyi net bir şekilde ortaya konmuş olacaktır.

GLA'nın uygulama süreci; 1.Aşama: Karar matrisi yapısı ve oluşturulması

Karar matrisi yapısı oluşturulurken, sıralama yapılması gereken karar noktalarını matrisin satırlarında, bu noktaların değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler ise sütunlarda yer alır. Bu matris, karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisini ifade eder ve genellikle $X_i(j)$ notasyonu ile gösterilir. Burada matrisin satırları, analiz edilen alternatifleri (m) temsil ederken, sütunlar bu alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan faktör veya kriterleri (n) belirtir.

Bu matris, analiz edilecek alternatiflerin ve kriterlerin bir arada gösterildiği yapı olarak, aşağıdaki gibi ifade edilebilir [42].

$$X_i(j) = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & \dots & X_1(n) \\ X_2(1) & X_2(2) & \dots & X_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_m(1) & X_m(2) & \dots & X_m(n) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Burada, x_{ij} , i -inci alternatifin j -inci kriter altındaki değerini temsil etmektedir. Karar matrisinin oluşturulması, alternatiflerin performansını değerlendirme ve sıralama süreçlerinde kritik bir ilk adımdır [28].

GLA'nın uygulama süreci; 2.aşama: Karşılaştırma matrisi yapısı ve oluşturulması

Karşılaştırma matrisi yapısında öncelikle farklı faktörleri kıyaslanması ve aralarındaki birimsel farklılıkların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu amaçla, Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi kapsamında "gri ilişkisel oluşum" olarak isimlendirilen bir süreç uygulanmaktadır. Bu süreç, tüm Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan verilerin normalize edilmesi işlemini içermektedir. Normalizasyon, faktörlerin fayda veya maliyet (zarar) temelli olup olmamasına bağlı olarak üç farklı şekilde gerçekleştirilmektedir [28, 34].

1. Fayda temelli normalizasyon aşaması için;

$$X_i(j) = \frac{X_i(j) - \min X_i(j)}{\max X_i(j) - \min X_i(j)} \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

Eğer bir değişkenin daha yüksek bir değere sahip olması, daha iyi bir karar anlamına geliyorsa, fayda temelli normalizasyon yöntemi kullanılmaktadır.

2. Maliyet (Zarar) temelli normalizasyon:

$$Xi(j) = \frac{\max Xi(j) - Xi(j)}{\max Xi(j) - \min Xi(j)} \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

Eğer bir değişkenin daha yüksek bir değere sahip olması, daha kötü bir karar anlamına geliyorsa, maliyet temelli normalizasyon yöntemi uygulanmaktadır.

3. İdeal değere yakınlık temelli normalizasyon:

$$Xi(j) = 1 - \left| \frac{Xi(j) - Xo(j)}{\max Xi(j) - Xo(j)} \right| \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (3.4)$$

Eğer bir değişkenin ideal bir değere mümkün olduğunca yakın olması bekleniyorsa, yukarıdaki gibi formülizasyon kullanılmaktadır.

Burada $Xo(j)$ optimum dereceyi vermektedir ve $\min Xi(j) \leq Xo(j) \leq \max Xi(j)$ arasında olmaktadır. Normalizasyon işleminin tamamlanmasının ardından, faktörler arasındaki birim farklılıklar giderilir ve tüm faktörler kıyaslanabilir bir duruma getirilmektedir. Bu işlem sonucunda, her bir faktöre ait değerler 0 ile 1 arasında bir ölçek içerisine yerleştirilmektedir. Bu durum, verilerin daha kolay yorumlanmasını ve karşılaştırılmasını sağlamaktadır [28, 34].

GLA'nın uygulama süreci; 3.aşama: Referans serisi yapısı ve oluşturulması

İlk iki aşamadan sonra ortaya çıkan matris (X') eşitlik (5)'de gösterilmektedir [43];

$$X'_i(j) = \begin{bmatrix} X'_1(1) & X'_1(2) & \dots & X'_1(n) \\ X'_2(1) & X'_2(2) & \dots & X'_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X'_m(1) & X'_m(2) & \dots & X'_m(n) \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

n adet kadar belirlenen faktör, tek tek belirlenen hepsi için referans değerleri ise matris olarak ($X0$) ise eşitlik (6)'da yer verilmiştir;

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), X_0(3), \dots, X_0(n)\} \quad (3.6)$$

$X_0(j)$ değerleri, referans matrisinde gösterildiği üzere normalize süreci sonrasında çıkan değerlere göre iki farklı şekilde tercih yapılması gerekmektedir. $X_i(j)$ için en büyük çıkan sonuç seçilmektedir veya en yüksek performansı sonucu veren 1'e yakın veya eşit olması istenmektedir. Çeşitli uygulamalarda genellikle $X_0(j)$ için verilecek değer 1 seçilmektedir [28, 43].

GIA'nın uygulama süreci; 4.Aşama: Fark matrisinin hesaplanıp bulunması

$$\Delta 0i(j) = |X_0(1) - X_i(1)|, |X_0(2) - X_i(2)|, \dots, |X_0(n) - X_i(n)| \quad (3.7)$$

Mutlak değer tablosu, faktörler arasındaki katsayı farklarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Katsayı farkı, karar matrisindeki her bir değer referans değerine olan uzaklığını ifade etmektedir. Bu hesaplama yöntemi, faktörlerin göreceli önem düzeylerini analiz etmek için temel bir adımdır. Katsayı farkının matematiksel ifadesi, aşağıdaki gibi gösterilmektedir [42]:

Burada:

- $X_0(j)$, referans matrisindeki j. faktörün değerini,
- $X_i(j)$, i. alternatif için karar matrisindeki j. faktörün değerini ifade etmektedir.

GIA'nın uygulama süreci; 5.Aşama: Gri ilişkisel katsayı değeri bulunması

Gri ilişkisel analiz (GRA) kapsamında, gri ilişkisel katsayı $X_i(j)$ ile referans değeri $X_0(j)$ arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Bu katsayının hesaplanmasında, aşağıda belirtilen formül kullanılmaktadır [28, 34]:

$$(X_0(j), X_i(j)) = \frac{\Delta_{min} + \delta \Delta_{max}}{\Delta_{0j} + \delta \Delta_{max}} \quad (3.8)$$

Δ_{max} = Dizinde bulunan değişim değerinin en büyüğü

Δ_{min} = Dizinde bulunan değişim değerinin en küçüğü

$\zeta = 0,5$ en sık kullanılan değerdir. Dizinde bulunan değişim değerinin en büyüğünü küçültmek için kullanılır.

GLA'nın uygulama süreci; 6.Aşama: İlişkisel derecenin bulunması

Gri ilişkisel dereceler, gri ilişkisel analiz yönteminde her bir faktör için elde edilen gri ilişkisel katsayıların ağırlıklandırılmasıyla hesaplanan bir değeri ifade etmektedir. Bu hesaplama, genellikle faktörlerin göreceli önemini yansıtan ağırlıkların kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Gri ilişkisel derecenin matematiksel formülü, (9) nolu formülde belirtilmiştir. Bu formül, analiz edilen faktörlerin performans seviyelerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Ağırlıklı toplamlar yöntemiyle hesaplanan gri ilişkisel derece, karar verme süreçlerinde birden fazla kriterin etkisini dikkate alarak en uygun sonuca ulaşmayı sağlamaktadır [28, 43].

$$Y(X_0, X_i) = \sum_{j=1}^n \in (X_0(j), X_i(j), * W_i(j)) \quad (3.9)$$

Burada $W_i(j)$ değeri ağırlığın her bir seri için ayrı olacak şekilde formülüne etmektedir. Eğer bu seri faktörlerin hepsi aynı olan ağırlık derecesinde olduğunda, matematiksel formül olarak (10)'da denklem ile sonuç ortaya çıkmaktadır.

$$Y(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \in (X_0(j), X_i(j)) \quad (3.10)$$

İlişkisel derecesi, bir başka deyişle benzerlik derecesini herbiri için seri ile referans serisi için ölçüp değerlendirip, sayısallaştırmaktadır. Alternatif seri ile referans serileri ne kadar benzerlik derecesi fazla ise gri ilişkisel derecede sayısal olarak o kadar artmaktadır [28, 43].



4. SAVUNMA SANAYİSİ VE TALAŞLI İMALAT SEKTÖRÜNE BAKIŞ

Ülkemiz stratejik bulunduğu konumu ile birlikte iç ve dış tehditlere karşı savunmada kalabilmek, tehditleri aza indirebilmek için savunma sanayimiz bulunmakta olup, gün geçtikçe gelişmektedir. Son yıllarda, özellikle savunma sanayisi alanında faaliyet gösteren özel sektör firmaları, vakıf şirketleri ve kamu kurumları, Ar-Ge çalışmalarına büyük önem vererek hızla ilerleme kaydetmiştir. Bu çalışmalar sayesinde, yerli ve milli üretim kapasitesi ciddi şekilde artmış ve birçok yenilikçi ürün geliştirilmiştir. Savunma sanayisinde geliştirilen ürünler, yalnızca ülke içinde kullanım ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ihtiyaç duyan diğer ülkelere ihraç edilmektedir. Bu ihracat faaliyetleri, bir yandan ülkenin savunma alanındaki itibarını artırırken, diğer yandan da milli gelire olumlu katkı sağlamaktadır. Bu durum, ekonomik büyümeye destek sunmakla kalmayıp, savunma teknolojilerinde bağımsızlık hedefini de güçlendirmektedir [44].

Talaşlı imalat, imalat sektörünün bir alt dalı olarak, özellikle savunma sanayi sektörü içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. İmalat sanayisi, birçok sektöre ham madde ve yarı mamul sağlayarak, imalat endüstrisinin temel yapı taşlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda, talaşlı imalat sektörü, makine üretiminde aynı zamanda savunma sanayisinde sahip olduğu geniş pazar payı ile kritik bir konuma sahiptir [1].

Genel olarak imalat, ham madde ya da yarı mamul durumundaki bir malzemenin, çeşitli operasyonlar sonucunda nihai bir ürüne dönüştürülmesi süreci olarak tanımlanır. Bu süreç, hem emek hem de sermaye gerektiren karmaşık bir üretim döngüsüdür. İmalat aşamalarında, kullanılan ham madde türüne ve üretim gereksinimlerine bağlı olarak farklı yöntemler tercih edilmektedir. Talaşlı imalat, döküm, kaynaklı birleştirme işlemleri ve talaşsız şekillendirme gibi yöntemler, bu süreçte sıklıkla kullanılan temel üretim tekniklerindendir [45].

Son yıllardaki teknolojik ilerlemeler ile birlikte Türkiye'nin savunma ve havacılık sanayii sektöründe dünya pazarında önemli bir yere sahip olmaktadır. Ülkemizde sisteme yönelik yetkinliklere göre katagorilere ayrılmış Savunma Sanayii tedarik zinciri bulunmaktadır. Bu yapıda platform/sistem bazında ana yükleniciler, tasarım geliştirme üretim yetkinliğine sahip alt ana yükleniciler bulunmaktadır. Parça ve alt ürünlerinin tedarikini sağlayan hizmet veren alt yükleniciler ve ekosistemin her alanında aktif rol oynayan Ar-Ge ve Ür-Ge

süreçlerinin destek veren kurum ve kuruluşlar bulunmaktadır. Savunma ve Havacılık alanında platform, ana ve alt sistemler üzerinden öne çıkan şirketler başlıca; ASELSAN, TUSAŞ, ROKETSAN, BAYKAR, TÜBİTAK SAGE, STM, HEVALSAN, BMC, FNSS, ALP HAVACILIK, METEKSAN olmaktadır [46]. Bu kapsamda talaşlı imalat yöntemleri, yüksek hassasiyet ve kalite gerektiren parça üretiminde stratejik bir rol oynamaktadır. Özellikle savunma ve havacılık sektörlerinde yer alan firmalar, kritik bileşenlerin üretiminde talaşlı imalat tekniklerini yaygın olarak kullanmakta; bu durum da sürecin hem teknolojik gelişimle entegre olmasını hem de kalite standartlarının sürekli olarak yükseltilmesini gerekli kılmaktadır. Bununla birlikte, talaşlı üretim sadece savunma ve havacılık değil, otomotiv, medikal, enerji, makine ve elektronik gibi birçok farklı sanayi kolunda da temel üretim yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Dolayısıyla talaşlı imalat, hem ülke sanayisinin rekabet gücünü artıran hem de tedarik zincirlerinde sürdürülebilirliği destekleyen kritik bir unsur haline gelmiştir.

5. İŞLETMEDE HTEA VE GİA'IN UYGULANMASI

5.1. Araştırmanın Varsayım ve Kısıtları

Araştırmada, Ankara'da faaliyet gösteren TÜBİTAK SAGE kuruluşunda alınan verilere göre çalışılmıştır. Firma kendi bünyesinde mekanik üretimleri yaparken, aynı zamanda savunma sanayi sektöründe gelişmekte olan ve üretim yapan birçok alt kuruluş firmalarda da üretim yaptırmaktadır. Bu çalışmada incelenen firma gruplarında, parçaların mekanik üretimi talaşlı imalat yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Üretim sürecinde, parçalar için uygun imalat yöntemleri öncelikle (Bilgisayar Destekli Tasarım – Bilgisayar Destekli İmalat) CAD-CAM yazılımları aracılığıyla belirlenmekte ve ardından CNC tezgâhlarında uygulanmaktadır. Bu yöntem doğrultusunda satın alma birimi tarafından tedarik edilecek ham malzeme ile birlikte bu parçaya frezeleme, tornalama, raybalama ve son olarak tesviye proseslerinin tamamlanmasıyla yarı mamul/mamul olarak meydana gelmektedir. Yarı mamul/mamul üretimi tamamlandığında aralıklı olarak kalite kontrol birimi çalışanları tarafından onaylanması ile ilerlemektedir. Proje doğrultusunda bazı parçalarda kaplama, boyama, markalama vb. isterler bulunmaktadır. Bu prosesler için firmalar tarafından dış proses hizmeti satın alarak süreç yürütülmektedir.

Bu çalışmada bu firmalarda gerçekleştirilen üretimlerde meydana gelen hataların analizi yapılmıştır. Bu çalışma 2023 ve 2024 yılları içerisinde çalışılan toplamda 18 firma ile sınırlandırılmıştır. Bu firmalarda üretilen toplamda 75 farklı parça üretimi ile kısıtlandırılmıştır. Bu parçaların ham maddeleri değişkenlik göstermektedir. Bu yapıda çoğunlukla alüminyum (Al 6061, Al 5083, Al 7075, Al 5754, Al 6082, Al 6063), çelik (AISI 4140, AISI 1040, AISI 1020), paslanmaz çelik türleri(AISI 303, AISI 304, AISI 316, 17-4 Ph (AISI 630), 15-5 Ph, 13-8 Ph) ve titanyum (Ti-6Al-4V) malzemeler kullanılmaktadır. Alınan bu verilerde mekanik üretim sonrası firmalarda meydana gelen üretim hatalarını, sebeplerini ve bunların ölçüsel sınıflandırılması kullanılmıştır. Toplamda 772 hata meydana gelmiştir. Bu hataların çeşit türlerine göre sınıflandırılmıştır.

5.2. Uygulama

HTEA uygulaması

Talaşlı imalat prosesi süresi boyunca firmalarda birçok sebepten kaynaklı hatalar, uygunsuzluklar meydana gelebilmektedir. Bunların çoğu çalışan personel, makine, malzeme, çevre şartları vb. sebeplerden dolayı uygunsuzluklar ortaya çıkabilmektedir.

Bu çalışmada, tedarikçi firmalarda üretilen parçalar, imalat sürecinde gerçekleşen faaliyetler ve bu prosesler boyunca ortaya çıkan uygunsuzluklar, firmalardan gelen sapma istekleri doğrultusunda tablo ve çizelgeler yardımı ile dokümanite edilmiştir.

Uygulama kapsamında, tedarikçi firmalarda üretimden başlayarak müşteriye sevkiyata kadar olan doğrudan süreçler altı temel başlık altında değerlendirilmekte ve bu süreçler aşağıda belirtilmektedir;

- Ham Madde
- Geometrik Tolerans ve Ölçülendirme
- Revizyon
- Teknik Resim-Katı Model
- Dış Proses
- Görsel Yapı

2024 yılında her bir işletmede yukarıda yer alan altı süreç boyunca karşılaşılan hata türleri, bu hataların etkisi, hataların nedeni ve mevcut kontrol faaliyetlerinin olduğu çizelgeler aşağıda paylaşılmıştır.

Teknik resimde belirtilen malzeme isteri ve tedarikçi firmaların ham madde tedarik aşaması kabul sürecinde gerçekleştirilirken, meydana gelen hatalar ve potansiyel hata türleri buna göre hatanın oluşmaması için mevcut faaliyet aşağıda Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Ham malzeme sürecine bağlı olarak potansiyel hata türlerinin şiddet, olasılık, farkedilebilirlik ve RÖS değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Ham madde süreci mevcut durum ve karşılaşılabilecek hata türü

Süreç	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Etkisi	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti
Ham Madde	Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	Ham madde yetersizliği	Satın alma personeli yanlış talep çıkması	Göz ile muayene İletkenlik kontrolü LOT kontrolü İşlem sırasında çalışanın dikkat etmesi ve çalışanın kontrol edilmesi
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) test hataları		
	Standart Farklılığı	Ham madde yetersizliği	Tedarikçi firma yanlış ham malzeme sevk hatası	Ham maddelerin tanımlayıcı etiket isimlendirilmesi
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) test hataları		
	Hatalı Tedarikçi Ham Malzeme Sertifikası	Ham madde yetersizliği	Giriş kalite kontrol çalışanın hatası	Giriş kalite kontrol çalışmanı farkındalığı ve kontrol edilmesi
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) test hataları		
	Hatalı Tedarikçi Ham Malzeme Sertifikası	Ham madde yetersizliği	Tedarikçinin yanlış etiket ile ham malzemeyi sevk etmesi	Tedarikçi denetlenmesi
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) test hataları		

Hesaplanan tablo Çizelge 5.2’de verilmiştir. Süreç sonucunda hesaplanan en yüksek değere sahip 150 RÖS değeri hatalı tedarikçi ham malzeme sertifikasından kaynaklanan hatalardır. Çünkü tedarikçi firmanın doğru sertifika gönderdiği düşünülerek hareket edilir, fakat hatalı gelmesi durumunda hem malzeme hatalı olabilir hemde fark edilebilmesi için ham malzemenin kimyasal kompozisyonun kontrol edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.2. Ham madde süreci RÖS değeri hesaplanması

Süreç	Potansiyel Hata Türü	ŞİDDET	OLASILIK	FARK EB	RÖS
Ham Madde	Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	10	3	2	60
	Standart Farklılığı	10	5	2	100
	Hatalı Tedarikçi Ham Malzeme Sertifikası	10	5	3	150

Parça imalat aşamalarından sonra, geometrik toleranslandırma ve ölçülendirme sürecinde karşılaşılabilecek hata türleri ve hatanın oluşmaması amacı ile yapılan mevcut faaliyet

aşağıda Çizelge 5.3'te belirtilmiştir. Makine işleme/imalat prosesi sonrası ölçülendirme işlemi yapılmaktadır. Burada belirtilen süreç geomentrik toleranslandırma ve ölçülendirmedir. Bu süreç içerisinde her bir işletmede teknik detaylara göre CAD-CAM oluşturulması, bu modelinin CNC tezgâha aktarılması, tezgâh ayarlama prosesi ve gerekli ise deneme parçası üretme, frezeleme, tornalama, delik delme gibi işlemler gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalar geometrik ölçülendirmelerde hatalar ortaya çıkmaktadır. Bu hatalar boyutsal, konum, çap, profil, düzelmsellik ve diklik olmaktadır. Boyutsal olarak ölçülerin farklı gelmesi veya sapması, konum toleransının istenilen değerlerde çıkmaması, delik çapının büyük veya küçük delinmiş olması ve diğer geometrik toleranslarında belirtilenlerden farklı gelmesi işletme için büyük problemlere yol açabilmektedir.

Geomentrik toleranslandırma ve ölçülendirme sürecinde frezeleme tornalama delik delme alt sürecinde boyutsal olarak ölçülerin hatalı gelmesi, konum toleransının sapması ve çapın istenilen değerde olmaması hata türleri 420 RÖS değeri ile işletmelerde görülen en yüksek risk seviyeli hatalardır. İkinci olarak RÖS değeri 378 ile aynı hatalar devam etmektedir. Bunun sebebi ana üründe güvenlik problemi ve montaj hatası oluşturup ürünün hurda olmasına sebebiyet vermesidir Geomentrik toleranslandırma ve ölçülendirme sürecine ilişkin şiddet, olasılık, fark edilebilirlik dereceleri ve RÖS değerleri Çizelge 5.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 5.3. Geometrik tolerans ve ölçülendirme süreci durum ve hata türü

Süreç	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Etkisi	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti
Geometrik Tolerans ve Ölçülendirme	Boyutsal	Montaj sırasında uyumsuzluk	CAD-CAM personelinin dikkatsizliği ya da yetersizliği	Ayar parçası üretilmesi
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Ek işgücü ihtiyacı		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
	Konum	Montaj prosesi Uygunuzluk	Operatörün sıfırı hatalı alması ya da doğrulamaması	Ayar parçanın onaya kalite kontrole verilmesi
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Ekstra işgücü ihtiyacı		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Hurda ürün		
	Çap	Montaj prosesi Uygunuzluk	Yanlış cam program	Operatörlerin kumpas ile parça ölçümleri yapması
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Ekstra işgücü ihtiyacı		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Hurda ürün		
	Profil	Montaj prosesi Uygunuzluk	Operatörün kesici takımı hatalı bağlaması	İş emrine göre parçanın kalite kontrolünün sağlanması
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Ekstra işgücü ihtiyacı		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Hurda ürün		
	Düzlemsellik	Montaj prosesi Uygunuzluk	Takımhane çalışanının hatalı kesici takım vermesi (Çap-Boy)	Kalite kontrol biriminde ayar parçasının boyutsal olarak doğrulanması
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Ekstra işgücü ihtiyacı		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Hurda ürün		
	Diklik	Montaj prosesi Uygunuzluk	Kesici takım kırılması	CAD-CAM sorumlusunun takımhane çalışanını bilgi vermesi
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Ekstra işgücü ihtiyacı		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Hurda ürün		
	Diklik	Montaj prosesi Uygunuzluk	Kalite kontrol çalışan dikkatsizliği	İmalat şefinin işlemleri kontrol etmesi
		Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
		Ekstra işgücü ihtiyacı		
		Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
		Hurda ürün		

Çizelge 5.4. Geometrik toleranslar ve ölçülendirme süreci RÖS hesaplaması

Süreç	Süreç Alt Adım	Potansiyel Hata Türü	ŞİDDET	OLASILIK	FARK EB	RÖS
Geometrik Tolerans ve Ölçülendirme	Frezeleme Tornalama Delik Delme	Boyutsal	10	7	6	420
		Konum	10	7	6	420
		Çap	10	7	6	420
		Profil	10	6	6	360
		Düzlemsellik	10	6	5	300
		Diklik	10	6	5	300

Dış proses sürecinde, meydana gelen hata türleri ve hatanın oluşmaması için mevcut faaliyet belirlenen tablo aşağıda Çizelge 5.5’te belirtilmiştir.

Çizelge 5.5. Dış proses süreci mevcut durum ve hata türü

Süreç	Süreç Alt Adım	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Etkisi	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti
Dış Proses	Isıl İşlem Kaplama/Boya Manyetik Parçacık	Yanlış standartta işlem uygulanması, Yanlış kaplanması,	Montaj prosesi Uygunsuzluk	Parça muayene ve sevkiyat çalışmasının hatası	Dış prosese sevk edilen parçaların teknik datalar ile desteklenmesi
			Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
			Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
			Ekstra işgücü ihtiyacı		
		Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması	Montaj prosesi Uygunsuzluk	Tedarikçi firma çalışmasının hatası	Dış prosesten gelen dataların (Uygunluk) kontrolü
			Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
			Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
			Ekstra iş gücü gereksinim		
		İstenilen sertlik değerinde olmaması	Montaj prosesi Uygunsuzluk	İsterlerin belirtildiği dokuman gönderilmemesi	
			Parça hurdaya ayrılması ve teslimatta aksama		
			Proje (uçak, füze, sistem, vb.) güvenlik problemi		
			Ekstra iş gücü gereksinimi		

Dış proses sürecinde her bir firmada üretilen parçalar için kaplama-boyama ya da markalama prosesleri genellikle dış tedarikçi firmalarda yaptırılmaktadır. Bu süreçte teknik resimde

belirtilen kaplama-boyama teknik dokümana veya standarda göre uygun yapılmayabilir. Sonucunda parça hasar görebilir. Dokumanın doğru gönderilmesi, teknik verilerin tam olması burada önem taşımaktadır. Dış proses kalite raporuna göre doğruluk sağlanabilir. Bu raporun olmaması veya hatalı olması hata riskini oldukça arttırmaktadır.

Dış proses sürecinde hesaplanmış olan şiddet, olasılık, fark edilebilirlik dereceleri ve RÖS değerleri Çizelge 5.6’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.6. Dış proses süreci RÖS hesaplaması

Süreç	Süreç Alt Adım	Potansiyel Hata Türü	ŞİDDET	OLASILIK	FARK EB	RÖS
Dış Proses	Isıl İşlem Kaplama/Boya Manyetik Parçacık	Yanlış standartta işlem uygulanması, Yanlış kaplanması,	10	3	4	120
		Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması	10	4	4	160
		İstenilen sertlik değerinde olmaması	10	3	3	90

Dış proses süreci aşamasında bulunan alt proseslerden kaplama-boyama adımı RÖS değeri 160 ile en yüksek değere sahip olan hatalı maskeleme ve istenilen dokumana göre yanlış kaplanmasıdır.

Mekanik talaşlı üretim süreçlerinde, nihai ürünün kalitesini belirleyen önemli faktörlerden biri görsel yapı bütünlüğüdür. Üretim sonrası ortaya çıkan görsel bozukluklar, müşteri memnuniyetinin azalmasına, montaj sürecinde uyumsuzluklara ve ek iş gücü ihtiyacına yol açmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu hataların potansiyel nedenleri, etkileri ve mevcut kontrol faaliyetleri HTEA yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Görsel yapı sürecinde, meydana gelen hata türleri ve hatanın oluşmaması için mevcut faaliyet belirlenen tablo aşağıda Çizelge 5.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.7. Görsel yapı süreci mevcut durum ve hata türü

Süreç	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Etkisi	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti
Görsel Yapı	Görsel bozukluklar	Müşteri memnuniyetsizlik	Uygunsuz taşıma ile oluşan hatalar	Görsel kontrol Ara muayene kalite kontrol
		Montaj sırasında uyumsuzluk	Makine üretim hatası	
		Ek işgücü ihtiyacı	Hatalı paketlenme	

Çizelge 5.8. Görsel yapı süreci RÖS hesaplanması

Süreç	Potansiyel Hata Türü	ŞİDDET	OLASILIK	FARK EB	RÖS
Görsel Yapı	Görsel bozukluklar	8	2	3	48

Görsel yapı süreci için RÖS hesaplama tablosu Çizelge 5.8’de belirtilmiştir. Tabloda yer alan veriler doğrultusunda, görsel bozuklukların üç ana etkisi belirlenmiştir. Bu hataların temel nedenleri arasında taşıma sırasında parça uygunluğunun sağlanamaması, makine üretim hataları ve hatalı paketlenme yer almaktadır. Olasılık değeri 2 olarak belirlenen bu hataların tespiti için görsel kontrol ve ara muayene kalite kontrolü gibi faaliyetler yürütülmektedir. Bununla birlikte, hataların hesaplanan RÖS değerleri en yüksek 48 olarak görsel bozukluklar olarak belirlenmiştir.

Mekanik talaşlı üretim süreçlerinde dokümantasyon değişiklikleri, ürün kalite yönetimi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Teknik resim ve üretim gerekliliklerinde yapılan revizyonların doğru şekilde yönetilmemesi, üretim süreçlerinde ciddi kalite problemlerine yol açabilir. Bu çalışmada, revizyon uyuşmazlığı kaynaklı hatalar, bunların etkileri ve mevcut kontrol faaliyetleri Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi çerçevesinde ele alınmış olup tablosu aşağıda Çizelge 5.9’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.9. Revizyon süreci mevcut durum ve hata türü

Süreç	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Etkisi	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti
Revizyon	Revizyon Uyuşmazlığı	Hurda ürün	Revizyon kontrol etmemesi	Dokuman kontrolü yapılması
			Eski dokumana göre üretim	Müşteriden teknik data talebi

Revizyon uyumsuzluğu sonucu ortaya çıkan en önemli hata, "hurda ürün" olarak belirlenmiştir. Revizyon süreci için hesaplanan RÖS değeri Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Revizyon süreci RÖS hesaplanması

Süreç	Potansiyel Hata Türü	ŞİDDET	OLASILIK	FARK EB	RÖS
Revizyon	Revizyon Uyuşmazlığı	9	4	3	108

Üretim sırasında dokümantasyonun doğru revizyon seviyesine göre kontrol edilmemesi, hatalı üretime ve kaynak israfına yol açmaktadır. Bu hatanın temel nedenleri arasında imalat personelinin revizyon kontrolünü yapmaması ve eski dokümana göre üretim gerçekleştirilmesi yer almaktadır. Yanlış revizyon bilgisine dayalı üretim, hem müşteri beklentilerini karşılamayan ürünlerin ortaya çıkmasına hem de maliyet kayıplarına neden olmaktadır. Bu tabloda verilen hataya göre RÖS değeri 108 olarak hesaplanmıştır.

Bu tür hataların önlenmesi için mevcut kontrol faaliyetleri arasında doküman kontrolü yapılması ve müşteriden teknik data talep edilmesi yer almaktadır. Ancak bu kontrollerin yeterliliği, süreç boyunca sağlanan izlenebilirlik ve personel farkındalığına bağlıdır.

Mekanik imalat süreçlerinde teknik resim ve katı model arasındaki tutarsızlıklar, üretim sürecinde hatalara neden olan kritik faktörlerden biridir. Teknik dokümantasyonun üretimle uyumlu olmaması, ek iş gücü ihtiyacından hurda ürün oluşumuna kadar çeşitli problemlere yol açabilmektedir. Bu çalışmada, teknik resim ve katı model arasındaki farklardan kaynaklanan üretim hataları Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemiyle değerlendirilmiş olup, tablo olarak aşağıda Çizelge 5.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Teknik resim-katı model süreci mevcut durum ve hata türü

Süreç	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Etkisi	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti
Teknik Resim - Katı Model	Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması	Ek işgücü ihtiyacı	Müşteri -tasarımcı teknik datalarda hatalı gönderimi	Doküman kontrolü yapılması
		Ürünün hurdaya ayrılması ve sevkiyat tarihinin aksamaması		Müşteriden teknik data talebi

Tabloda belirtilen hata türü, teknik resim ve katı model arasındaki farklılıklar olarak tanımlanmıştır. Bu süreç için hesaplanan RÖS değeri Çizelge 5.12’de verilmiştir. Bu tür hatalar, üretim sürecinde gereksiz iş gücü kullanımı ve zaman kaybına sebep olarak üretim verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Bu hataların temel nedenleri arasında müşteri veya tasarımcının teknik dataları hatalı göndermesi yer almaktadır. Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değerlendirildiğinde, en yüksek olan RÖS: 63 değeri hurda ürün oluşumuna ve sevkiyat gecikmesine neden olan hata için hesaplanmıştır.

Çizelge 5.12. Teknik resim-katı model süreci RÖS hesaplanması

Süreç	Potansiyel Hata Türü	ŞİDDET	OLASILIK	FARK EB	RÖS
Teknik Resim - Katı Model	Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması	7	3	3	63

Uygulanan HTEA sonucunda tespit edilen hata çeşitleri ve hesaplanan risk öncelik sayısı (RÖS) değerleri, en yüksekten en düşüğe doğru sıralanarak Çizelge 5.13’te sunulmuştur.

Çizelge 5.13. Potansiyel hata türleri ve RÖS değerleri

Potansiyel Hata Türü	RÖS
Çap (Çap değerinin büyük işlenmesi)	420
Konum (Konum sapması)	420
Boyutsal (Boyutsal Ölçüsel Hatalar)	420
Profil (Profillik Toleransı Sapması)	360
Düzlemsellik (Düzlemsellik Tolerans Sapması)	300
Diklik (Diklik toleransının Sapması)	300
Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması	160
Hatalı Tedarikçi Ham Malzeme Sertifikası	150
Yanlış standartta işlem uygulanması, Yanlış Kaplanması	120
Revizyon Uyuşmazlığı	108
Standart Farklılığı	100
İstenilen sertlik değerinde olmaması	90
Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması	63
Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	60
Görsel bozukluklar	48

Bu çalışmada, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi ile üretim sürecinde karşılaşılan olası hata türleri değerlendirilmiştir. Elde edilen Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değerleri incelendiğinde, en kritik hata türlerinin $RÖS \geq 150$ olanlar olduğu görülmüştür.

Bu hata türleri incelendiğinde, özellikle geometrik tolerans hataları (çap, konum, boyutsal hatalar, profil, düzlemsellik, diklik sapmaları) yüksek RÖS değerleri ile öne çıkmaktadır. Bu durum, üretim sürecinde hassas ölçü kontrollerinin yetersizliği veya işleme stratejilerinde optimizasyon eksikliklerinden kaynaklanabileceğini göstermektedir. Ayrıca, hatalı maskeleme ve kaplama hataları, malzeme sertifikasyon hataları ve revizyon uyumsuzlukları da dikkat edilmesi gereken kritik hata türleri arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, üretim sürecinde $RÖS \geq 150$ olan hata türlerinin büyük oranda üretim kalitesini ve güvenilirliğini etkileyebileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu hata türlerinin oluşmasını engellemek veya oluşma olasılığını azaltmak için süreçlerin gözden geçirilmesi ve sürekli iyileştirme faaliyetlerinin uygulanması gerekmektedir.

5.3. Düzeltici Önleyici Faaliyetlerin Seçimi Uygulanması ve Güncel RÖS Değer

İşletmede uygulamaya koyulan HTEA kapsamında, üretim süreçleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu bölümde, tespit edilen RÖS değerleri doğrultusunda önerilen önleyici faaliyetlerin seçimi yapıp uygulamaları ile birlikte yer verilecektir.

Potansiyel hata türlerinin yol açabileceği hata etkilerinin şiddet derecelerinin farklılık göstermesi nedeniyle, aynı hata türü birden fazla RÖS değeri hesaplanabilmektedir. Analiz sürecinde, her bir potansiyel hata türü için hesaplanan RÖS değerleri arasından en yüksek değer referans alınarak değerlendirme yapılmıştır. Ham malzeme süreci için hatalara göre düzeltici önleyici faaliyetler Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14. Ham madde süreci önleyici faaliyetleri

Süreç	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti	RÖS	Önleyici Faaliyet
Ham Madde	Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	Satın alma personeli yanlış talep çıkması Tedarikçi firma yanlış ham malzeme sevk hatası	Görsel muayene İletkenlik LOT kontrolü İşlem gerçekleştirilirken personelin dikkatli davranması	60	Satın alma prosesi öncesi ilgili teknik isterlerin kontrol edilmesi Giriş kalite kontrol çalışanı uygunluk formu ile ham malzeme denkliği yapmadan ham malzeme girişi yapmaması
	Standart Farklılığı	Giriş kalite kontrol personelinin hatası Tedarikçinin ham malzemeyi yanlış etiket ile göndermesi	Hammaddelerin etiketlenmesi Giriş kalite kontrol personelinin dikkatli davranması ve personelin denetlenmesi	100	Satın alma sorumlusunun tedarikçileri değerlendirmesi ve kalite derecesi yüksekten ham malzeme tedarik etmesi
	Hatalı Tedarikçi Ham Madde Sertifikası		Tedarikçi denetlenmesi	150	

Üretim yapan işletmede gerçekleştirilen HTEA uygulaması kapsamında, ham madde sürecinde detaylı bir şekilde incelenmiş ve süreçte meydana gelebilecek potansiyel hata türleri belirlenmiştir. Ham madde satın alma ve kabul süreci, temelde malzeme sipariş listesinin gelen malzemeler ile karşılaştırılması ve ham maddenin depoya konumlandırılması olmak üzere iki temel aşama ile tanımlanmaktadır. Yapılan analizler sonucunda, bu süreçlerde meydana gelebilecek hata türleri ve ilgili Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değerleri tespit edilerek, önleyici faaliyet önerileri geliştirilmiştir. Ham madde sürecine dair belirlenen önleyici etkenler ile potansiyel hata türlerinin etkisi için yeniden değerlendirilen şiddet, olasılık, saptanabilirlik dereceleri ve yeni RÖS değerleri Çizelge 5.15'te gösterilmiştir. HTEA ekibi tarafından yürütülen değerlendirmelerde, ham madde kabul sürecinde karşılaşılan kritik hata türleri aşağıdaki RÖS değerleri ve önerilen düzeltici faaliyetler ile birlikte güncellenmiş RÖS değeri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 5.15. Ham madde süreci önleyici faaliyetlerinin güncel RÖS hesaplanması

Süreç	Potansiyel Hata Türü	RÖS	Önleyici Faaliyet	Sorumlu	Yeni (Ş)	Yeni (O)	Yeni (F.EB)	Yeni RÖS
Ham Madde	Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	60	Satın alma prosesi öncesi ilgili teknik isterlerin doğrulanması	Satin Alma Sorumlusu Giriş Kalite Kontrol Çalışanı	8	3	1	24
	Standart Farklılığı	100	Giriş kalite kontrol çalışanı uygunluk formu ile ham malzeme denkliği yapmadan ham malzeme girişi yapmaması		10	5	1	50
	Hatalı Tedarikçi Ham Madde Sertifikası	150	Tedarikçileri değerlendirmesi ve yüksek kaliteli firmadan ham malzeme satın alımı		9	5	2	90

Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası (RÖS: 60)

(Yeni RÖS: 24)

Standart Farklılığı (RÖS: 100)

(Yeni RÖS: 50)

Hatalı Tedarikçi Ham Madde Sertifikası (RÖS: 150)

(Yeni RÖS: 90)

Bu hataların süreç üzerindeki etkilerini minimize etmek amacıyla çeşitli mevcut kontrol faaliyetleri uygulanmaktadır. Görsel kontroller, iletkenlik LOT kontrolleri, işlem gerçekleştiren personelin dikkatli davranması, hammaddelerin etiketlenmesi gibi kalite kontrol prosedürleri, bu hataların önlenmesine yönelik mevcut uygulamalar arasında yer almaktadır. Ancak, belirlenen RÖS değerleri, mevcut kontrol faaliyetlerinin tek başına yeterli olmayabileceğini ve ek önlemler alınması gerektiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, hata türlerine yönelik önleyici faaliyetler belirlenmiş ve uygulamaya alınmıştır. Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası için, satın alma sürecinde ilgili teknik dokümanların kontrol edilmesi sağlanarak yanlış malzeme talebinin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Standart Farklılığı Hatası durumunda, giriş kalite kontrol personelinin uygunluk sertifikası ile ham malzeme eşleştirme prosedürlerini eksiksiz uygulaması gerektiği vurgulanmıştır. Hatalı Tedarikçi Ham Madde Sertifikası Hatası ile ilgili olarak, satın alma sorumlularının tedarikçi firma değerlendirmelerini daha sıkı yapması ve yalnızca kalite puanı yüksek tedarikçilerle çalışılması yönünde iyileştirmeler önerilmiştir.

İmalat ile birlikte gerçekleştirilen geometrik tolerans ve ölçülendirme sürecine ilişkin önleyici faaliyet aşağıda Çizelge 5.16’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.16. Geometrik tolerans ve ölçülendirme süreci önleyici faaliyetleri

Süreç	Süreç Alt Adım	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti	RÖS	Önleyici Faaliyet
Geometrik Tolerans ve Ölçülendirme	Frezeleme Tornalama Delik Delme	Boyutsal	CAD-CAM personelinin dikkatsizliği ya da yetersizliği	Ayar parçası üretilmesi	420	Operatörün işleyeceği NC programın İmalat Amiri onayından geçmesi CAD-CAM çalışanlarına mesleki uygulama eğitim zorunluluğu İşlem planında ölçülmesi gereken ölçüler belirtilmeli-bulunan ölçülerin kayıt edilmesi Riskli parçalarda daha sık ölçüm ve ara kontrol yapılması
		Konum	Operatör hatası (sıfırı yanlış alması)	İlk parça onayı için kalite kontrol birimi kontrolü	420	
		Çap	Hatalı CAM program Operatörün fikstürü hatalı monte etmesi	Operatörlerin kumpasları ile parça ölçümü yapması	420	
		Profil	Operatörün yanlış fikstür seçmesi	İş emrinde verilen sıklıkta parçanın kalite kontrolleri sağlanması	360	
		Düzlemsellik	Operatörün kesici takımı yanlış bağlaması	Ayar parçasının kalite kontrolleri sağlanması	300	
		Diklik	Takımhane personelinin yanlış kesici takım vermesi(Çap-Boy) Kesici takım kırılması Kalite kontrol personeli hatası	CAD-CAM personelinin takımhane personeline bilgi vermesi İmalat şefinin işlemi kontrol etmesi	300	

İmalat ile birlikte gerçekleştirilen ölçüm ve kontrol faaliyetleri, üretim kalitesini doğrudan etkileyen kritik adımlardan biridir. Bu süreçte oluşabilecek potansiyel hata türlerinin sistematik olarak değerlendirilmesi ve önleyici faaliyetlerin belirlenmesi, hataların minimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, Frezeleme, Tornalama ve Delik Delme gibi alt işlemleri içeren Geometrik Tolerans ve Ölçülendirme süreci özelinde yapılan Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) sonuçları değerlendirilmiştir.

Tabloda yer alan verilere göre, boyutsal hataların temel nedenleri arasında CAD-CAM personelinin dikkatsizliği ya da yetersizliği öne çıkmakta olup, mevcut kontrol faaliyeti olarak ayar parçası üretilmesi yöntemi uygulanmaktadır. Bu hata türüne ait Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değeri 420 olarak belirlenmiştir. Bu yüksek değeri düşürmek amacıyla önerilen önleyici faaliyet, operatörün işleme alacağı NC programının İmalat Amiri tarafından onaylanmasıdır. Benzer şekilde, konum hatalarına operatörün sıfır kontrolü yapmaması veya hatalı sıfır alması neden olmaktadır. Bu durumda ilk parça onayının kalite kontrol birimi tarafından alınması mevcut kontrol faaliyeti olarak öne çıkmaktadır. Bu hata türü için de RÖS değeri 420 olarak kaydedilmiştir. Bu değer azaltılması için CAD-CAM personeline yönelik mesleki uygulama eğitimi verilmesi önerilmektedir. Çap hatalarına neden olan faktörler arasında hatalı NC program kullanımı, operatörün aparat yanlış bağlaması veya yanlış aparatı seçmesi gibi durumlar bulunmaktadır. Bu tür hatalarda parça ölçümlerinin iş emrinde belirtilen aralıklarla kalite kontrol birimi tarafından onaylanması mevcut kontrol faaliyeti olarak yürütülmektedir. Çap hatalarına ilişkin RÖS değeri yine 420 olup, operatörün ölçmesi gereken değerlerin operasyon planında açık şekilde gösterilmesi ve değerlerin kayıt altına alınması önerilen önleyici faaliyetler arasında yer almaktadır. Profil hatalarına ise kesici takımın yanlış bağlanması neden olmakta, bu hata türü için mevcut kontrol faaliyeti olarak parçanın kalite kontrol biriminde ölçülerek doğrulanması uygulanmaktadır. RÖS değeri 360 olan bu hata türüne yönelik önleyici faaliyet olarak kalite kontrol ölçüm aralıklarının riskli parçalarda kısa tutulması önerilmiştir. Düzlemsellik hatalarında ise takımhaneye personelinin yanlış kesici takım vermesi öne çıkmaktadır. Bu tür hatalarda, CAD-CAM prosesi için çalışan kişinin iş öncesi takımhaneye çalışanına bilgi vermesi kontrol faaliyetini oluşturmaktadır. RÖS değeri 300 olan bu hataya karşı alınacak önleyici faaliyetler, benzer şekilde bilgilendirme süreçlerinin iyileştirilmesini içermektedir. Diklik hataları ise kesici takım kırılması veya kalite kontrol personelinin ölçümde hata yapmasından kaynaklanmaktadır. İmalat şefinin işlemi kontrol etmesi mevcut kontrol faaliyeti olarak belirlenmiş ve bu hata türü için de RÖS değeri 300 olarak hesaplanmıştır.

Geometrik Tolerans-Ölçülendirme süreci önleyici faaliyetleri aşamasında hata sebeplerine göre tüm etkileri için yeniden hesaplanan şiddet, olasılık, saptanabilirlik dereceleri ve yeni RÖS değerleri Çizelge 5.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.17. Geometrik tolerans ve ölçülendirme güncel RÖS hesabı

Süreç	Süreç Alt Adım	Potansiyel Hata Türü	RÖS	Önleyici Faaliyet	Sorumlu	Yeni (Ş)	Yeni (O)	Yeni (F.EB)	Yeni RÖS
Geometrik Tolerans ve Ölçülendirme	Freze Torna Delik Delme	Boyutsal	420	İşlenecek cam programın İmalat şefi onayından geçmesi	İmalat Amiri	10	7	5	350
		Konum	420			10	7	5	350
		Çap	420	CAD-CAM çalışanına uygulama eğitim verilmesi	Teknik Müdür	10	7	5	350
		Profil	360		Kalite Kontrol Çalışanı	10	6	4	240
		Düzlemsellik	300	Operasyon planında ölçülecek değerlerin verilmesi, ölçülen değerlerin kayıt edilmesi	Kalite Yönetim Mühendisi	10	6	4	240
		Diklik	300		CAD-CAM Tekniker Operatör	10	6	4	240
				Riskli parçalarda sık ölçüm yapılması					

Geometrik tolerans ve ölçülendirme sürecine ilişkin yapılan değerlendirme sonucunda, yüksek RÖS değerlerine sahip hata türlerinin özellikle insan kaynaklı olduğu ve bu hataların azaltılmasında eğitimin ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesinin büyük rol oynadığı görülmektedir. Geerekli sorumlu personellerin bu sürece hakim olarak eğitimlerde ve denetimlerde aktif çalışması gerektiği buna bağlı olarak iyileştirmeleri gerçekleştirmede süreç üzerinde önemli etkiye sahiptir. Potansiyel hata nedenlerine karşı sistematik önleyici faaliyetlerin hayata geçirilmesi, aktif olarak kontroller ile uygulamalar sağlanarak üretim sürecinde oluşabilecek sapmaların önüne geçerek ürün kalitesinin artırılmasını sağlayacaktır.

Dış proses sürecine ilişkin mevcut kontroller ile birlikte önleyici faaliyet aşağıda Çizelge 5.18’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.18. Dış proses süreci önleyici faaliyetleri

Süreç	Süreç Alt Adımı	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti	RÖS	Önleyici Faaliyet
Dış Proses	Isıl İşlem Kaplama/Boya Manyetik Parçacık	Yanlış standartta işlem uygulanması, Yanlış kaplanması,	Parça muayene ve sevkiyat çalışanı yanlışları	Teknik data ile dış prosese parça gönderilmesi	120	Dış prosesi onaylı tedarikçide yapılması ya da kalite skoru yüksek olan firmalardan alınması
		Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması			160	
		İstenilen sertlik değerinde olmaması	Tedarikçi firma hatası İsterlerin belirtildiği doküman gönderilmemesi	Dış proses uygunluk belgesi ile denklik sağlanması	90	Dış prosesi tamamlanan parçaların Kalite kontrol amirinin ile ikinci kez kontrol etmesi kaşe ile onaylanması

Dış proses uygulamaları, üretim sürecinin doğrudan tesis dışında gerçekleştirilen ancak ürün kalitesini doğrudan etkileyen önemli bir bileşenidir. Özellikle ısıtıl işlem, kaplama/boya ve manyetik parçacık testleri gibi dış proses adımlarında meydana gelebilecek hatalar, ürünün nihai performansı ve müşteri memnuniyeti açısından kritik riskler doğurmaktadır.

En çok karşılaşılan potansiyel hata türleri arasında yanlış standartta işlem uygulanması ve yanlış kaplama yer almaktadır. Bu hataların temel nedeni olarak parça muayene ve sevk personelinin hatası gösterilmektedir. Halihazırda uygulanan kontrol faaliyeti, dış prosese gönderilen parçaların teknik dokümanla birlikte sevk edilmesini kapsamaktadır. Ancak bu kontrol faaliyetinin yeterliliği sınırlı kalmakta ve Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değeri 120 olarak hesaplanmıştır. Bu değer azaltılması amacıyla önerilen önleyici faaliyet, dış proses hizmetinin yalnızca müşteri onaylı ya da kalite değerlendirme skoru yüksek tedarikçilerden alınmasıdır. Bu sayede, dış kaynaklı hataların önüne geçilmesi ve sürecin güvenilirliğinin artırılması hedeflenmektedir. Hatalı maskeleme ve yanlış kaplama gibi hata türü kapsamında mevcut kontrol faaliyeti, dış prosesten dönen parçaların uygunluk belgesiyle karşılaştırmalı olarak kontrol edilmesi şeklinde yürütülmektedir. Ancak hata ihtimali görece yüksek olduğundan bu aşama için RÖS değeri 160 gibi nispeten kritik bir seviyede belirlenmiştir. Bu nedenle önerilen önleyici faaliyet olarak kalite kontrol birim amirinin dış prosesten teslim

alınan parçaları giriş muayene onrası ikinci kez kontrol etmesi ve iş emri üzerinden onay sürecine kaşe ile dahil olması tavsiye edilmektedir. Bu ek doğrulama mekanizması, sürece çift yönlü güvenlik katmanı kazandırarak hata olasılığını önemli ölçüde düşürecektir. Karşılaşılan bir diğer potansiyel hata türü, istenilen sertlik değerinin sağlanamamasıdır. Bu hata genellikle müşteri isteklerinin teknik dokümanlarda belirtilmemesi veya eksik iletilmesi nedeniyle oluşmaktadır. Bu hata türü için mevcut kontrol faaliyeti, parçaların dış prosese teknik doküman ile gönderilmesi olarak tanımlanmakta olup, RÖS değeri 90 olarak belirlenmiştir. Bu değer, diğer dış proses adımlarına kıyasla daha düşük olmakla birlikte, önerilen önleyici faaliyet yine sürecin daha fazla kontrol altında tutulması yönünde olmuştur. Kalite kontrol şefinin iş emri üzerinden onay vermesi ve bu doğrultuda gelen parçaların ikincil kontrol sürecinden geçmesi, bu hata türünün tekrarlanmasını engelleyici bir önlem olarak sunulmuştur.

Dış proses süreci önleyici faaliyetleri aşamasında hata türlerinin etkilerine istinaden yeniden hesaplanan şiddet, olasılık, saptanabilirlik dereceleri ve yeni RÖS değerleri Çizelge 5.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.19. Dış proses süreci önleyici faaliyetleri ve güncel RÖS değerleri

Süreç	Süreç Alt Adım	Potansiyel Hata Türü	RÖS	Önleyici Faaliyet	Sorumlu	Yeni (Ş)	Yeni (O)	Yeni (F.EB)	Yeni RÖS
Dış Proses	Isıl İşlem Kaplama/Boya Manyetik Parçacık	Yanlış standartta işlem uygulanması Yanlış kaplanması	120	Dış prosesi onaylı tedarikçiye yapılması ya da kalite skoru yüksek olan firmalardan alınması	Kalite Kontrol Amiri	10	3	2	60
		Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması	160			10	4	2	80
		İstenilen sertlik değerinde olmaması	90	Dış prosesi tamamlanan parçaların Kalite kontrol amirinin ile ikinci kez kontrol etmesi kaşe ile onaylanması	Satın Alma Sorumlusu	10	3	1	30

Genel olarak değerlendirildiğinde, dış proses adımlarında yaşanan hataların önemli bir kısmı iletişim, dokümantasyon ve tedarikçi güvenilirliği ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle dış tedarikçilere gönderilen parçaların teknik gereksinimlerle tam uyumlu şekilde iletilmesi ve

kontrol faaliyetlerinin çok katmanlı olarak uygulanması, dış kaynaklı hataların azaltılmasında belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, dış proseslerde insan kaynaklı hataları önlemeye yönelik eğitim faaliyetlerinin yanı sıra, tedarikçi seçiminde kalite performansı kriterlerinin dikkate alınması süreç kalitesini artıracaktır. Görsel yapı sürecine ilişkin önleyici faaliyet aşağıda Çizelge 5.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.20. Görsel yapı süreci önleyici faaliyetleri

Süreç	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti	RÖS	Önleyici Faaliyet
Görsel Yapı	Görsel bozukluklar	Parça uygunsuz taşıma sırasında oluşan hatalar Makine üretim hatası Hatalı paketleme	Görsel kontrol/ Ara muayene Ara muayene kalite kontrol	48	Ara kalite kontrollerin sıklaştırılması

Üretim süreçlerinde nihai ürünün müşteri beklentilerini karşılaması açısından görsel bütünlük ve estetik kalite büyük önem arz etmektedir. Bu bozuklukların oluşum nedenleri arasında parça taşıma esnasında yaşanan uygunsuzluklar, makine kaynaklı üretim hataları ve hatalı paketleme gibi faktörler yer almaktadır.

Söz konusu hata türüne karşı mevcut kontrol faaliyeti olarak görsel kontrol, ara muayene ve kalite kontrol uygulamaları yürütülmekte olup, bu hataya ilişkin Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değeri 48 olarak tespit edilmiştir. Bu düşük risk seviyesi, mevcut kontrollerin belirli ölçüde etkin olduğunu göstermektedir. Ancak kalite seviyesini daha da artırmak amacıyla ara kalite kontrollerinin sıklığının artırılması önerilen önleyici faaliyet olarak sunulmuştur. Görsel yapı süreci önleyici faaliyetleri uygulanmas sonucu aşamasında hata türlerinin etkilerine göre yeniden hesaplanan şiddet, olasılık, saptanabilirlik dereceleri ve yeni RÖS değerleri Çizelge 5.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.21. Görsel yapı süreci önleyici faaliyetleri ve güncel RÖS değerleri

Süreç	Potansiyel Hata Türü	RÖS	Önleyici Faaliyet	Sorumlu	Yeni (Ş)	Yeni (O)	Yeni (F.EB)	Yeni RÖS
Görsel Yapı	Görsel bozukluklar	48	Ara kalite kontrollerin sıklaştırılması	Kalite Kontrol Mühendisi	8	2	2	32

Önleyici faaliyetin bu sürece yaklaşımı, olası görsel kusurların erken tespiti ve bertarafı açısından sürece olumlu katkı sağlamış olup, güncel hesaplanan RÖS değeri 48 den 32 ye düşmüştür. Revizyon sürecine ilişkin önleyici faaliyet aşağıda Çizelge 5.22’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.22. Revizyon süreci önleyici faaliyetleri

Süreç	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti	RÖS	Önleyici Faaliyet
Revizyon	Revizyon Uyuşmazlığı	İmalat personelinin revizyon kontrol etmemesi Eski dokümana göre üretim	Doküman kontrolü yapılması Müşteriden teknik data talebi	108	Üretime almadan önce doküman kontrolleri yapılması, revizyon bilgilerinin iş emrine yazılması

Üretim süreçlerinde dokümantasyonun güncelliği, hatasız ve müşteri taleplerine uygun üretimin sağlanmasında kritik rol oynamaktadır. Bu hatanın temel nedenleri, imalat personelinin güncel revizyonları kontrol etmemesi ve eski dokümanlara göre üretim yapılmasıdır.

Mevcut durumda uygulanan kontrol faaliyetleri, doküman kontrolü yapılması ve müşteriden güncel teknik verilerin talep edilmesi şeklindedir. Ancak bu faaliyetlerin sınırlı kalması nedeniyle, ilgili sürece ait Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değeri 108 olarak belirlenmiştir. Bu riski azaltmak adına önerilen önleyici faaliyet, üretim başlamadan önce mutlaka doküman kontrollerinin yapılması ve revizyon bilgilerinin iş emirlerine açık şekilde yazılmasıdır. Böylece doküman kaynaklı üretim hatalarının önüne geçilerek süreç güvenliği artırılabilir. Revizyon süreci önleyici faaliyetleri aşamasında hata türlerinin etkileri için yeniden hesaplanan şiddet, olasılık, saptanabilirlik dereceleri ve yeni RÖS değerleri Çizelge 5.23’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.23. Revizyon süreci önleyici faaliyetleri

Süreç	Potansiyel Hata Türü	RÖS	Önleyici Faaliyet	Sorumlu	Yeni (Ş)	Yeni (O)	Yeni (F.EB)	Yeni RÖS
Revizyon	Revizyon Uyuşmazlığı	108	Üretime almadan önce doküman kontrolleri yapılması, revizyon bilgilerinin iş emrine yazılması	İmalat Mühendisi	9	3	2	54

Teknik Resim - Katı Model sürecine ilişkin önleyici faaliyet aşağıda Çizelge 5.24’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.24. Teknik resim - katı model süreci önleyici faaliyetleri

Süreç	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Hatanın Nedeni	Mevcut Kontrol Faaliyeti	RÖS	Önleyici Faaliyet
Teknik Resim - Katı Model	Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması	Müşteri -tasarımcı teknik datalarda hatalı gönderimi	Doküman kontrolü yapılması Müşteriden teknik data talebi	63	Üretime almadan önce doküman kontrolleri yapılması

Üretim süreçlerinin sağlıklı ilerleyebilmesi açısından, teknik resim ile katı model verilerinin birbiriyle tam uyumlu olması büyük önem taşımaktadır. Bu hatanın temel nedeni, müşteri veya tasarımcı tarafından teknik dataların hatalı gönderilmesidir.

Mevcut kontrol faaliyetleri kapsamında, üretim öncesi doküman kontrolü yapılması ve müşteriden teknik data talebinde bulunulması uygulanmaktadır. Bu hata türüne ilişkin Risk Öncelik Sayısı (RÖS) 63 olarak belirlenmiştir. Teknik Resim - Katı Model süreci önleyici faaliyetleri aşamasında hata türlerinin etkileri için yeniden hesaplanan şiddet, olasılık, saptanabilirlik dereceleri ve yeni RÖS değerleri Çizelge 5.25’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.25. Teknik resim - katı model süreci önleyici faaliyetleri

Süreç	Potansiyel Hata Türü	RÖS	Önleyici Faaliyet	SORUMLU	YENİ (Ş)	YENİ (O)	YENİ (F.EB)	YENİ RÖS
Teknik Resim - Katı Model	Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması	63	Üretime almadan önce doküman kontrolleri yapılması	İmalat Mühendisi	7	2	2	28

Süreç riskini daha da azaltmak adına önerilen önleyici faaliyet, üretim öncesinde teknik doküman kontrollerinin titizlikle yapılmasıdır. Bu yaklaşım, veri uyumsuzluklarından kaynaklanan üretim hatalarının önüne geçilmesine katkı sağlayacaktır. Bu sayede güncel Rös değeri 28 olarak hesaplanmıştır.

5.4. Gri İlişki Analizinin Uygulanması

GRİ metodolojisinde uygulamada referans olarak hata türü etkileri ve analizi ana tablosunda hesaplanan süreç, potansiyel hata türleri, şiddet, olasılık, fark edilebilirlik, RÖS değerleri ele alındığı ve buna göre gri ilişki analizini aynı hata türleri için hesaplanması ile ilerletilecektir. Daha önce belirlenen bu süreç ve hata türleri için değerler Çizelge 5.26’da paylaşılmıştır. Bu çalışma kapsamında, üretim sürecinde karşılaşılan 15 farklı hata türü için GİA yöntemi kullanılarak normalize edilmiş Şiddet, Olasılık ve Fark Edilebilirlik değerleri elde edilmiştir. GİA’nın temel amacı, çok kriterli karar verme problemlerinde, karar kriterleri arasındaki ilişkinin gücünü belirleyerek önceliklendirme yapmaktır. Bu doğrultuda elde edilen bulgular, hata türlerinin göreceli önem derecelerini anlamak açısından kritik bilgiler sunmaktadır.

Çizelge 5.26. HTEA özet RÖS değerleri

Süreç	Süreç Alt Adım	Potansiyel Hata Türü	Ş	O	F. EB	RÖS
Dış Proses	Isıl İşlem Kaplama/Boya Manyetik Parçacık	Yanlış standartta işlem uygulanması, Yanlış kaplanması,	10	3	4	120
		Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması	10	4	4	160
		İstenilen sertlik değerinde olmaması	10	3	3	90
Görsel Yapı		Görsel bozukluklar	8	2	3	48
Ham Madde		Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	10	3	2	60
		Standart Farklılığı	10	5	2	100
		Hatalı Tedarikçi Ham Malzeme Sertifikası	10	5	3	150
Geometrik Tolerans ve Ölçülendirme	Frezeleme Tornalama Delik Delme	Boyutsal	10	7	6	420
		Konum	10	7	6	420
		Çap	10	7	6	420
		Profil	10	6	6	360
		Düzlemsellik	10	6	5	300
		Diklik	10	6	5	300
Revizyon		Revizyon Uyuşmazlığı	9	4	3	108
Teknik Resim - Katı Model		Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması	7	3	3	63

Adım 1: Referans serisi ve karşılaştırma serilerinin belirlenmesi;

Karşılaştırma için kullanılacak referans serisinin tanımlanmasıdır. Bu analiz için risk faktörleri için ideal değerler, her bir faktör için en düşük değerlerdir. Risk düştükçe iyileşmektedir.

Çizelge 5.13 deki veri setine bakıldığında, en düşük değerler:

Şiddet: min = 7 (15. satırda yer alan "Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması" hatasındadır.)

Olasılık: min = 2 (4. satırda yer alan "Görsel bozukluklar" hatasındadır.)

Fark Edilebilirlik: min = 2 (5. ve 6. satırlarda yer alan "Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası" ve "Standart Farklılığı" hatalarındadır.)

Dolayısıyla referans serisi: [7, 2, 2] Ayrıca maksimum değerler de analiz için önemlidir:

Şiddet: max = 10 (birçok hata türünde)

Olasılık: max = 7 (8, 9 ve 10. satırlarda)

Fark Edilebilirlik: max = 6 (8, 9, 10 ve 11. satırlarda) Bu değerler, sonraki adımlarda normalizasyon işlemi için kullanılacaktır.

Adım 2: Normalizasyon işlemi

Normalizasyon, farklı ölçeklerdeki verileri 0 ile 1 arasına dönüştürmek için kullanılır. GRI'de "daha küçük daha iyi" prensibi için kullanılan normalizasyon denklemi 11 nolu formülde belirtilmiştir:

$$x_i(k) = \frac{\max x_i(k) - x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad (5.1)$$

Örnek hesaplama (1. hata türü için):

Şiddet normalizasyonu: Değer = 10, max = 10, min = 7

$$\text{Normalizasyon} = x = \frac{10-10}{10-7} = 0,0$$

Olasılık normalizasyonu: Değer = 3, max = 7, min = 2

$$\text{Normalizasyon} = x = \frac{7-3}{7-2} = 0,8$$

Fark Edilebilirlik normalizasyonu:

Değer = 4, max = 6, min = 2

$$\text{Normalizasyon} = x = \frac{6-4}{6-2} = 0,5$$

Normalizasyon sonrası, ideal durum her kriter için 1,00 değeridir, çünkü "daha küçük daha iyi" prensibine göre en düşük değerler (en az risk) 1,00'e dönüştürülür. Normalizasyon sonuçları Çizelge 5.27'de verilmiştir.

Çizelge 5.27. Normalizasyon sonuçları

Hata Türü	Şiddet	Olasılık	Fark Edilebilirlik
Yanlış standartta işlem uygulanması/Yanlış kaplanması	0	0,8	0,5
Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması	0	0,6	0,5
İstenilen sertlik değerinde olmaması	0	0,8	0,75
Görsel bozukluklar	0,666667	1	0,75
Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	0	0,8	1
Standart Farklılığı	0	0,4	1
Hatalı Tedarikçi Ham Malzeme Sertifikası	0	0,4	0,75
Boyutsal	0	0	0
Konum	0	0	0
Çap	0	0	0
Profil	0	0,2	0
Düzlemsellik	0	0,2	0,25
Diklik	0	0,2	0,25
Revizyon Uyuşmazlıkları	0,333333	0,6	0,75
Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması	1	0,8	0,75

Adım 3: Mutlak fark matrisinin oluşturulması - detaylı açıklama

Bu adımda, her bir hata türü için normalize edilmiş değerler ile ideal değerler (referans serisi) arasındaki mutlak farklar hesaplanır. Referans serisi normalizasyon sonrası [0] olmuştur.

Mutlak fark hesaplama formülü:

$$\Delta_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (5.2)$$

$x_0(k)$: Referans serisinin k. kriteri için değeri

$x_i(k)$: i. hata türünün normalize edilmiş k. kriteri için değeri

Örnek hesaplama (1. hata türü için):

Şiddet farkına göre referans değeri = 1,00, Normalize değer = 0,00

Mutlak fark = $|0,00 - 0,00| = 0,00$

Olasılık farkına göre referans değeri = 0,00, Normalize değer = 0,80

Mutlak fark = $|0,00 - 0,80| = 0,80$

Fark Edilebilirlik farkına göre referans değeri = 0,00, Normalize değer = 0,50

Mutlak fark = $|0,00 - 0,50| = 0,50$

Bu matristeki değerler ne kadar küçük olursa, ilgili hata türünün o kriter açısından ideale o kadar yakın olduğunu gösterir. Mutlak fark matris sonuçları Çizelge 5.28’de verilmiştir.

Çizelge 5.28. Mutlak fark matrisi sonuçları

Hata Türü	Şiddet Fark	Olasılık Fark	F.EB Fark
Yanlış standartta işlem uygulanması	0	0,8	0,5
Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması	0	0,6	0,5
İstenilen sertlik değerinde olmaması	0	0,8	0,75
Görsel bozukluklar	0,666667	1	0,75
Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	0	0,8	1
Standart Farklılığı	0	0,4	1
Hatalı Tedarikçi Ham Madde Sertifikası	0	0,4	0,75
Boyutsal	0	0	0
Konum	0	0	0
Çap	0	0	0
Profil	0	0,2	0
Düzlemsellik	0	0,2	0,25
Diklik	0	0,2	0,25
Revizyon Uyuşmazlıkları	0,333333	0,6	0,75
Teknik resim ve katı model uyumsuzluk	1	0,8	0,75

Adım 4: Gri ilişki katsayılarının hesaplanması

Gri İlişki Katsayısı (GİK), her bir kriter için hata türlerinin referans serisine ne kadar yakın olduğunu gösteren bir ölçüdür. Hesaplama formülü:

$$\xi(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \cdot \Delta_{max}}{\Delta_i(k) + \zeta \cdot \Delta_{max}} \quad (5.3)$$

Δ_{min} : Tüm mutlak fark matrisindeki en küçük değer (bu durumda 0.00)

Δ_{max} : Tüm mutlak fark matrisindeki en büyük değer (bu durumda 1.00)

ζ : Ayırma katsayısı (genellikle 0,5 kullanılır)

$\Delta_i(k)$: i. hata türünün k. kriteri için mutlak fark değeri

Örnek hesaplama (1. hata türü için):

Şiddet GİK:

$$\xi_s = \frac{0 + 0,5 * 1}{0 + 0,5 * 1} = \frac{0,5}{0,5} = 1$$

Olasılık GİK:

$$\xi_0 = \frac{0 + 0,5 * 1}{0,8 + 0,5 * 1} = \frac{0,5}{1,3} \approx 0,3846$$

Fark edilebilirlik GİK:

$$\xi_{F.E} = \frac{0,5}{0,5 + 0,5} = \frac{0,5}{1} = 0,5$$

Çıkan mutlak fark matrislerinin sonuçlarına göre gri ilişki katsayısı şiddeti, olasılığı ve fark edilebilirliği ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tabloya veriler işlenmiş olup Çizelge 5.29'da gri ilişki katsayı sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.29. Gri ilişki katsayıları sonuçları

Hata Türü	Şiddet GİK	Olasılık GİK	F.EB GİK
Yanlış standartta işlem uygulanması/Yanlış kaplanması	1	0,384615	0,5
Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması	1	0,454545	0,5
İstenilen sertlik değerinde olmaması	1	0,384615	0,4
Görsel bozukluklar	0,428571	0,333333	0,4
Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	1	0,384615	0,333333
Standart Farklılığı	1	0,555556	0,333333
Hatalı Tedarikçi Ham Madde Sertifikası	1	0,555556	0,4
Boyutsal	1	1	1
Konum	1	1	1
Çap	1	1	1
Profil	1	0,714286	1
Düzlemsellik	1	0,714286	0,666667
Diklik	1	0,714286	0,666667
Revizyon Uyuşmazlıkları	0,6	0,454545	0,4
Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması	0,333333	0,384615	0,4

GİK değeri ne kadar yüksekse, o hata türünün ilgili kriter açısından ideale o kadar yakın olduğunu gösterir. 1.000 değeri, o kriterde tamamen ideal durumu ifade eder.

Adım 5: Gri İlişki Derecelerinin Hesaplanması - Detaylı Açıklama

Son adımda, her bir hata türü için Gri İlişki Derecesi (GİD) hesaplanır. Bu, tüm kriterlerin GİK değerlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Bu analizde, tüm kriterlerin eşit öneme sahip olduğunu varsaydım (her biri için $w = 1/3$).

GİD hesaplama formülü:

$$GID_{(i)} = \sum_{k=1}^n w(k) * \xi(x_0(k), x_i(k)) \quad (5.4)$$

Burada:

$w(k)$: k. kriterin ağırlığı (bu durumda her biri için 1/3)

$\xi(x_0(k), x_i(k))$: i. hata türünün k. kriteri için GİK değeri

Tüm hata türleri için GİD değerleri hesaplanmış olup aşağıdaki Çizelge 5.30'da sunulmuştur.

Çizelge 5.30. Gri ilişki dereceleri sonuçları

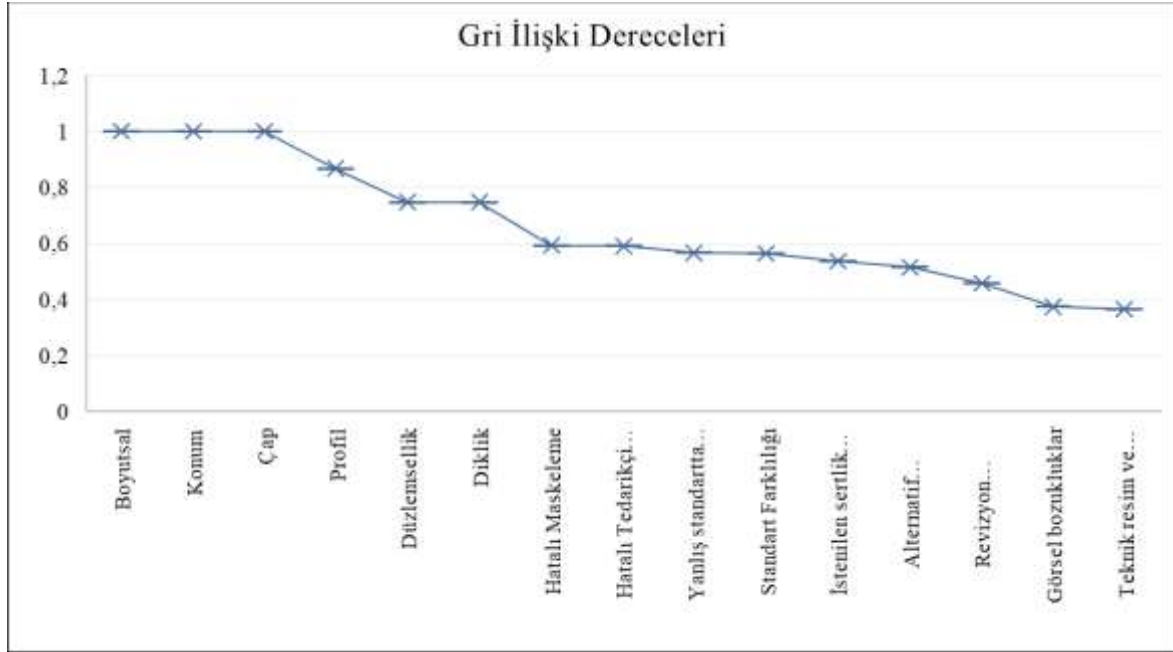
Hata Türü	Gri İlişki Derecesi
Boyutsal	1
Konum	1
Çap	1
Profil	0,867595819
Düzlemsellik	0,74719888
Diklik	0,74719888
Hatalı Maskeleme, Yanlış kaplanması	0,592896453
Hatalı Tedarikçi Ham Madde Sertifikası	0,590862573
Yanlış standartta işlem uygulanması/Yanlış kaplanması	0,566832858
Standart Farklılığı	0,564119455
İstenilen sertlik değerinde olmaması	0,536270125
Alternatif Malzeme Kullanımı Hatası	0,514652015
Revizyon Uyuşmazlıkları	0,457009858
Görsel bozukluklar	0,373809524
Teknik resim ve katı model arasında farklılıklar olması	0,365122539

GİD değeri ne kadar yüksekse, o hata türünün genel olarak ideale o kadar yakın olduğunu gösterir. Dolayısıyla, yüksek GİD değerine sahip hata türleri GRA yöntemine göre daha az kritiktir.



6. HTEA ve GRİ ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Gerçekleştirilen GİA analizi neticesinde elde edilen gri ilişki dereceleri, hata türlerinin sistem açısından kritik düzeylerini yeniden sıralamıştır. Aşağıda bu sıralamaya ilişkin bazı önemli gözlemler yer almaktadır. Gerçekleştirilen Gri İlişki Analizi (GİA) sonucunda elde edilen ilişki derecelerine ait grafik Şekil 6.1’de sunulmaktadır.

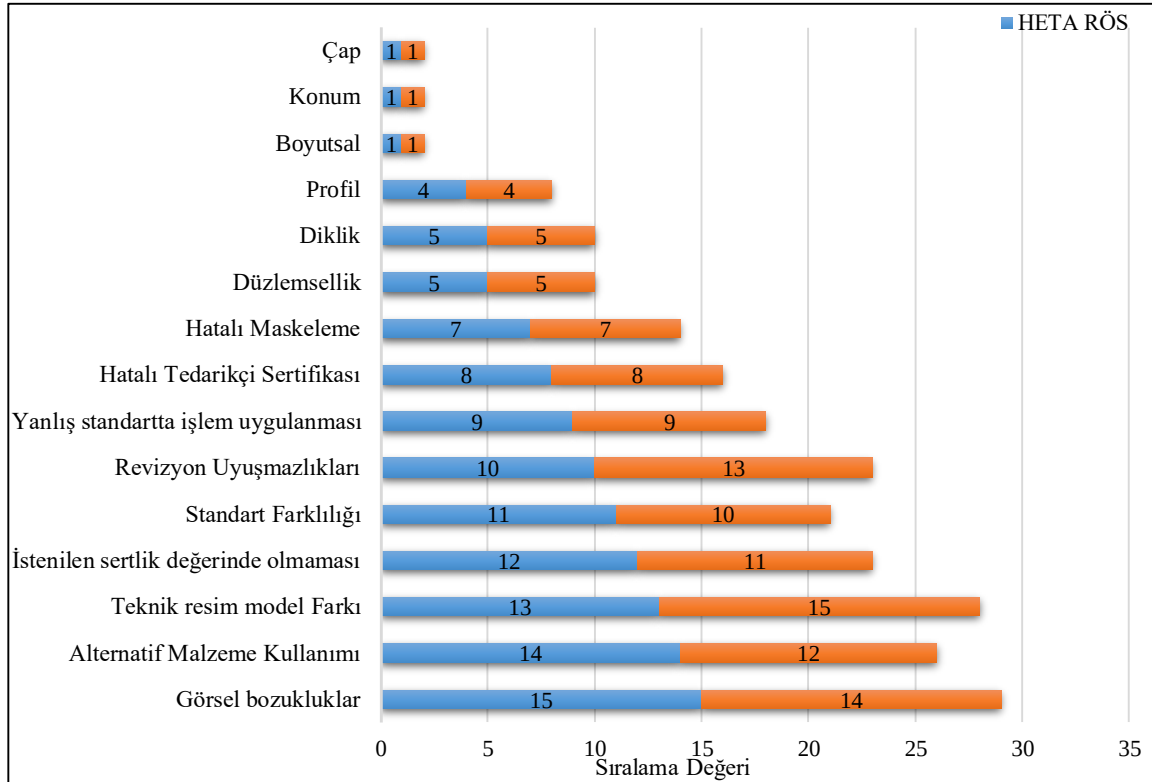


Şekil 6.1. Gri derece grafiği

İnceleme sonucunda her bir potansiyel hata türü için gri dereceler verilmiştir. Bu grafiğe göre en kritik hataları ve en az etki eden hatalar tespit edilebilmektedir. Değerler 1’e yaklaştıkça kritiklik seviyesi en yükseğe çıkmaktadır. “Boyutsal”, “Konum” ve “Çap” hatalarına ait gri ilişki derecelerinin 1,0 seviyesinde olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, bu hata türlerinin referans süreç ile olan ilişkilerinde maksimum benzerliğe sahip olduğunu ve dolayısıyla sistem performansı açısından en kritik hata türleri olduğunu göstermektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada da otomotiv sektöründe HTEA ve GİA ile bütünleştirilmiş uygulama tercih edilmiştir [10]. Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlarda da Şekil 6.1’de hesaplanan değerlere benzer şekilde aynı dereceye sahip belirli hatalar tespit edilmiştir. Fakat farklı gri ilişki dereceleri farklı RÖS değerleri de hesaplanmıştır. Yerebakan, yapmış olduğu çalışmada tarım sektöründe HTEA ve GRİ analizlerini bütünleştirerek uygulamıştır. Hesaplanan gri ilişki dereceleri gibi benzer kritik seviyeleri ve farklı derecelerde de hata türleri hesaplanmıştır [28].

Bu analiz sonucunda, hata türlerinin sistem üzerindeki etkilerinin yalnızca klasik RÖS hesaplamasıyla değil, gri ilişki dereceleri üzerinden de değerlendirilmesi; özellikle kritik hata türlerinin daha hassas bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamıştır.

HTEA RÖS ve GİA sıralamalarını eş zamanlı incelenmesi ile oluşturulan grafik Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. HTEA ve GİA'nın birlikte değerlendirilmesi- sıralama grafiği

Bu grafikte her bir hata türünün iki farklı analiz yönteminde de hem aynı değere sahip riskte hata olduğu hem de bazı sıralamaların değiştiğini görülmüştür. Yapılan bir çalışmada da HTEA uygulaması yapıldığında talaşlı imalat sektöründe benzer oranda çapın olması gerekenden büyük işlenmesi hatası en kritik hata olarak ve en yüksek RÖS değerine sahip olarak çıkmıştır [1]. Şekil 6.2’de de görüldüğü üzere savunma sanayisindeki talaşlı imalat aşamalarında da boyutsal, konum ve çap hataları en riskli hataların başında gelmektedir. Örnek olarak; "Hatalı Maskeleme" hatası, hem HTEA RÖS sıralamasında (7. sırada) hem de GİA analizinde (7. sırada) benzer konumda yer almıştır. Bu durum, klasik HTEA ve GİA yöntemlerinin bu hata türü konusunda hemfikir olduğunu göstermektedir.

Farklı değere sahip olan örnek ise "İstenen sertlik değeri olmaması" hatası HTEA sıralamasında 12. sıradayken, GİA analizinde 11. sıraya yükselmiştir. Bu küçük farklılık, GİA'nın verilerdeki yapısal duyarlılığı ortaya koyduğunu göstermektedir.

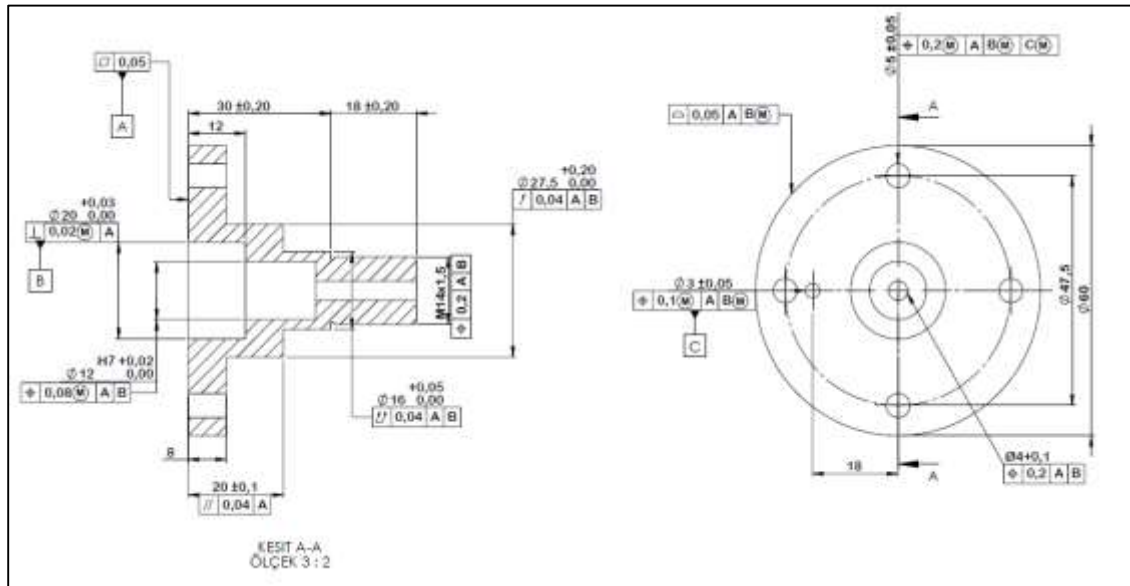
En dikkat çekici örneklerden biri "Görsel bozukluklar" hatasıdır. HTEA'da en düşük öncelik (15. sıra) olarak değerlendirilmişken, GİA analizinde 14. sıraya yükselmiştir. Bu değişim, fark edilebilirliğin düşük olmasının sistemsal olarak daha fazla etkisinin olabileceğine işaret etmektedir.

GİA analizinde en yüksek gri ilişki derecesine sahip hata türleri, sistemin referans durumundan en uzak olan, yani en kritik hata türleridir. Bu kapsamda: En yüksek skora sahip hatalar, genellikle yüksek şiddet + yüksek olasılık + yüksek fark edilebilirlik dengesine sahip olanlardır.

GİA bu kombinasyonları çok daha duyarlı bir şekilde yansıtmakta ve yalnızca çarpımsal RÖS değerlendirmesinden öte bir bakış açısı sunmaktadır.

6.1. Örnek Çalışma

Üretim için ham maddesi 17-4 Ph paslanmaz çubuktan üretilmesi gereken parçanın teknik resimi aşağıda Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Örnek Çalışma

Bu teknik resime göre üretilen parçada bir çok üretim hatası meydana gelmiştir. Parça resminde hem datumlar verilmiş hem de datumlara göre bir çok tolerans belirtilmiştir. Bu toleranslar boyutsal, konum, diklik, paralellik, salgı, profil, düzlemsellik olmaktadır. Parça görseli nispeten üretim için kolay üretilebilir görünse de ne kadar çok dar tolerans verildikçe bu değerler dar olması sebebiyle bu ölçülere girmesi oldukça zorlaşmaktadır.

Meydana gelen üretim hatalarından en yüksek risk taşıyanlara göre aşağıda bazıları verilmiştir.

Boyutsal hatalar:

Ø27,5 +0.20 (şaft kısmı): Ölçü 27,7 mm üst sınırdadır ve üretim sonrası gelen değer 27,722 olarak tolerans dışıdır. Bu durumda şaft, yatak veya montaj yerine sığmayabilir. Alt sınırdaki (27,5 mm tam) veya +0,20 tolerans içinde olması gerekirken fazla talaş kaldırılması ve takım ayarı hatasından dolayı aşırı ölçü kaçması yaşanmıştır.

Geometrik tolerans kaçmaları:

Dairesellik (Ø0,05 A ve B datumuna göre): Şaft yüzeyinin işlenmesinde kesme parametrelerinin iyi ayarlanmaması, takım titreşimi sebebiyle dairesellik 0,08 mm gibi daha yüksek çıkmıştır. Bu durumda parça döndüğünde titreşim ve aşınma sorunları yaşanır.

Profil (0,05 A ve B datumuna göre): Çap yüzeyi, referans A ve B esas alınarak nominal CAD yüzeyinden $\pm 0,025$ mm sapma içinde kalmalıdır. Ölçüm sonucuna göre -0,03 mm, +0,04 mm gelmekte ve toplam profil sapması 0,07 mm olmaktadır. Bu şekilde tolerans dışıdır. Parça referans A (örneğin taban yüzeyi) ve B (ekseni) üzerine doğru oturmadığı için, takım işleme hattı nominalden kaymıştır. Aynı zamanda özellikle uzun süre kullanılan veya köşe yarıçapı büyümüş kesici uçlar kontur yüzeyini tam işleyemediği için istenilen değere girememiş olma ihtimali mevcuttur. Bu tolerans kaçıklığı karşı yüzeyle istenilen teması sağlayamayabilir ve erken aşınma ve sistem üzerinde titreşim sorunları oluşturabilir.

Düzlemsellik (0,05 A datumuna göre): Flanş yüzeyi frezeleme esnasında düzgün yapılmadığı için yüzeyde 0,08 mm kadar düzlemsellik hatası oluşmuştur. Montaj yüzeyinde

sızdırmazlık problemi veya cıvata yük dağılımında dengesizlik meydana gelebilme gibi risk taşımaktadır.

Delik konum tolerans kaçmaları:

Ø0,2 A ve B datumuna göre (Ø4 deliklerin pozisyonu): Deliklerin konumunda 0,25 mm sapma meydana gelmiştir. Parçanın karşı flanşa montajı sırasında cıvata oturmaz veya montaj yapılamama ihtimali olduğu için yüksek risk taşımaktadır.

Üretim süreçlerinde ortaya çıkan boyutsal ve geometrik tolerans sapmaları; takım aşınması, hatalı bağlama, termal genleşme ve uygunsuz takım yolu seçimleri gibi çeşitli proses değişkenlerinden kaynaklanabilmektedir. Boyutsal toleranslardaki sapmalar, montaj uyumsuzlukları, boşluk oluşumu veya sıkışma gibi yüksek riskli sonuçlar doğururken; geometrik tolerans ihlalleri ise uzun vadede titreşim, aşınma, hizalama hataları ve sızdırmazlık problemleri gibi performans kayıplarına neden olabilmektedir. Bu doğrultuda, özellikle kritik boyutsal ölçülerin ve referans geometrilerin hassasiyetle kontrol edilmesi, üretim kalitesinin sürekliliği ve ürün güvenilirliğinin sağlanması açısından büyük önem arz etmektedir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Savunma sanayisinde işletmenin alt tedarikçilerine mekanik üretim olarak vermiş olduğu işlerde meydana gelen üretim hatalarına ilişkin HTEA ve GRİ analizleri yapılmış olup hem müşteriye hem ana tedarikçiye hem de üreticiye etkisi incelenmiştir. Potansiyel hatalar, sebepleri ve bunlara göre kalitesel iyileştirme önerileri ve sonuçlarına vurgu yapılmıştır. Buna göre ortaya konan sonuç ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Gri İlişki derece ve HTEA sonuçlarına göre Geometrik Tolerans ve Ölçülendirme Hatalarındaki grup (Boyutsal, Konum, Çap), RÖS değerlendirmesinde en kritik risk grubunu oluşturmaktadır (RÖS: 300-420).
- Gri İlişki derece sonuçlarına göre Hatalı Tedarik Sertifikası potansiyel hata nedeni ile bu hata, yüksek şiddet ve düşük fark edilebilirlik nedeniyle GİA'da yüksek önceliğe sahip olmuştur. Belgelendirme hatalarının kalite güvence sistemine olan etkisi büyük olduğundan kritik kabul edilmiştir.
- Profil, düzlemsellik ve diklik gibi hataların gri ilişki dereceleri yüksek bir bantta (0,74 – 0,86) seyretmektedir. Bu hata türleri de sistem için önemli düzeyde etkili olmakla birlikte, mutlak anlamda en kritik seviyede değildir.
- Yanlış standartta işlem uygulanması, hatalı maskeleme ve standart farklılığı gibi hataların gri ilişki dereceleri orta seviyede (~0,56 – 0,59) tespit edilmiştir. Bu hata türleri, sistem performansını etkileyen ancak diğerlerine kıyasla daha az kritik olan unsurlardır.
- Görsel bozukluklar, alternatif malzeme kullanımı ve istenen sertlik değeri olmaması hata türlerinde ise gri ilişki derecelerinin düşük olduğu (0,36– 0,53 aralığında) görülmektedir. Bu tür hatalar sistem üzerinde görece daha düşük etkiye sahiptir.
- Özellikle teknik resim ve model farklılığı ile revizyon uyumsuzlukları hataları en düşük gri ilişki derecesine sahiptir (~0,36 – 0,45). Bu durum, bu hata türlerinin doğrudan sistem performansına olan etkisinin daha sınırlı olduğuna işaret etmektedir.
- Potansiyel hataların sistem üzerine etkileri ise montaj ve fonksiyonel problemler ile ürün çalışma prensiplerinin etkilenmesi, verim kaybı olmaktadır. Kalite Problemlerinde ise nihai performansının düşmesi, garanti problemleri yaşanmaktadır. Analizler sonucu uygulanan düzeltici önleyici faaliyetler ve düzenli kontrol ile bu fonksiyonel, montaj ve kalitesel problemlerde iyileştirmeler sağlanmıştır.
- Elde edilen bulgular, geliştirilen iyileştirme stratejilerinin, mevcut literatürde raporlanan başarılı uygulamalarla paralel sonuçlar verebileceğini işaret etmektedir.



KAYNAKLAR

1. Dağci, B. (2019). *Kalite iyileştirme sürecinde hata türü ve etkilerinin analizi ve hataların veri madenciliği ile araştırılması: Talaşlı imalat sektöründe bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
2. Chakraborty, S., Datta, H. N., and Chakraborty, S. (2023). Grey relational analysis-based optimization of machining processes: a comprehensive review. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 7(4), 609-639.
3. Morán, J., Granada, E., Míguez, J. L., and Porteiro, J. (2006). Use of grey relational analysis to assess and optimize small biomass boilers. *Fuel Processing Technology*, 87(2), 123-127.
4. Baş, M. (2012). Gri ilişkisel analiz ile bir işletmede karşılaşılan üretim hatalarının incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(1), 123-142.
5. Sofyalioğlu, Ç. (2011). Süreç hata modu etki analizini gri değerlendirme modeli. *Ege Akademik Bakış*, 11(1), 155-164.
6. Kuo, Y., Yang, T., and Huang, G. W. (2008). The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. *Computers and Industrial Engineering*, 55(1), 80-93.
7. İstif, S. (2022). *Hata türü etkileri analizi yöntemi ve otomotiv yan sanayide uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
8. Beylihan, E., and Elevli, S. (2023). Hata türü ve etkileri analizinde bulanık swara yönteminin kullanımı: Otomotiv Sektörü Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(1), 212-224.
9. Singh, P. N., Raghukandan, K., and Pai, B. C. (2004). Optimization by Grey relational analysis of EDM parameters on machining Al–10% SiCP composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 155, 1658-1661.
10. Akpınar, B. (2015). *Hata türü ve etkileri analizi yöntemine gri teori yaklaşımının uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
11. Ayaz, H. I., and Testik, M. C. (2017, October). Automation of FMEA for computer servers using log data with grey relational analysis. In *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) IEEE*, 616-620.
12. Chiu, M. C., Chu, C. Y., and Chen, C. C. (2018). An integrated product service system modelling methodology with a case study of clothing industry. *International Journal of Production Research*, 56(6), 2388-2409.

13. Aran, G. (2006). *Kalite iyileştirme sürecinde hata türü etkileri analizi (FMEA) ve bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Osman Paşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tokat.
14. Kazan, C. A., Kuruca, H., and Karatop, B. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA): İmalat atölyesinde anlık hata ve durum izleme uygulaması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(3), 804-815
15. Durhan, D. (2006). *Hata türü ve etkileri analizi (FMEA) ve bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
16. Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. *Quality Press*, 50-100.
17. Kadioğlu, M., Uçmuş, E., Gönen, D. (2009). Makine imalatı yapan bir işletmede tasarım hata türü ve etkileri analizi ile hata kaynaklarının belirlenmesi ve kalitenin iyileştirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 42-55.
18. Yılmaz, B. S. (2000). Hata türü ve etki analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(4), 2000.
19. Yakıt, O. (2011). Hata türü etkileri analizi'nde kullanılan risk öncelik sayısı hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması: Gamateks Tekstil San. ve Tic. A.Ş. örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 3(5), 107-124.
20. Çeber, Y. (2010). *Hata türü ve etkileri analizi yönteminin (FMEA) üretim sektöründe uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
21. Çakmak, M. (2015). *Demir-çelik sektöründe bulanık hata türleri ve etkileri analizi (FUZZY FMEA) yöntemi ile risk değerlendirme uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
22. Duman, E. (2001), *Hata türü ve etkileri analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
23. Çelikkdemir, H. (2012). *Bir otomasyon hattında hata türü ve etkileri analizi uygulaması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
24. Akın, B. (1998). *ISO 9000 uygulamasında işletmelerde hata türü ve etkileri analizi*. (1.Baskı). İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi, 65-66.
25. Öztürk, T. (2008). *Hata türü ve etkileri analizinde bulanık mantık kullanarak bir kamu hastanesinin satın alma sürecinin iyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
26. Pillay, A., and Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability engineering and system safety*, 79(1), 69-85.

27. Kuvvetli, Ü. (2008). *Failure modes and effects analysis (FMEA) in statistical models*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
28. Yerebakan, S. (2019). *Hata türü ve etkileri analizi ile gri ilişkisel analiz bütünleştirilmesi–bir işletmede uygulama denemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
29. Korkmaz, E. (2010). *Hata türleri ve etkileri analizi ve otomotiv yan sanayi sektöründe Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
30. Aydın Keskin, G. (2008). *Hata türü ve etkileri analizinde bulanık adaptif rezonans teorisi yaklaşımı ile bir model önerisi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
31. Büyüktuna, O. (2012). *Hata türü ve etkileri analizi ve makine sanayinde bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
32. Yaylalı, Ç. (2008). *Kalite iyileştirmede hata türü ve etkileri analizi ve bir üretim sürecinde uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
33. Şen, S. (2013). *Hiyerarşik gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılarak optimal temel eğitim uçağının seçilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
34. Şimşek, V. (2018). *Nedensellik analizi ve gri ilişkisel analiz ile performans sıralaması: G20 ülkeleri üzerine bir çalışma*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
35. Liu, S., & Lin, Y. (2006). *Grey information: theory and practical applications*. London: Springer London, 85-138
36. Tzeng, G. H., and Tasur, S. H. (1994). The multiple criteria evaluation of grey relation model. *The Journal of grey system*, 6(2), 87-108.
37. Chu, H. C., Hsu, Y. T., and Lai, Y. H. (2008, 23-25 Haziran). A weighted routing protocol using grey relational analysis for wireless ad hoc networks. In *Autonomic and Trusted Computing: 5th International Conference, ATC 2008, Oslo, Norway, June 23-25, 2008 Proceedings 5* (655-663). Springer Berlin Heidelberg.
38. Huang, C. C., and Lee, H. M. (2003, August). A novel partial-memory learning algorithm based on grey relational structure. In *International Symposium on Intelligent Data Analysis* (68-75). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
39. Baş, M. (2010). *İşletmelerde finansal başarısızlığın öngörülmesinde gri ilişkisel analiz tekniği, tekstil ve deri sektöründe bir uygulama*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.

40. Yılmaz, E., and Güngör, F. (2010, 11-12 Kasım). *Gri ilişkisel analiz yöntemine göre farklı sertliklerde optimum takım tutucusunun belirlenmesi*. Ulusal Tasarım, İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 3, 1-9.
41. Güleç, Ö. F., and Özkan, A. (2018). Gri ilişkisel analiz yöntemi ile finansal performansın değerlendirilmesi: Bist çimento şirketleri üzerine bir araştırma. *Muhasebe ve Denetime Bakış*, 18(54), 77-96.
42. Öziç, H. C., Gündoğmuş, M. E., and Gümüş, U. T. (2017). Gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılarak bist'te tarım ve hayvancılık sektöründe işlem gören işletmelerin finansal performansının değerlendirilmesi. *International Journal of Academic Value Studies (Javstudies)*, 3(15), 69-75.
43. Gök, A. C. (2015). *Performans değerlendirmesinde bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı: Türk imalat işletmeleri örneği*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
44. Ersoy, U. (2019). *Savunma sanayisinde cmt uygulamalarının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
45. Şahin, Y. (2001). *Talaş kaldırma prensipleri*. (2.Baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 255-320.
46. İnternet: Ziyilan, A. (2004). Ulusal teknoloji yeteneği ve savunma sanayii, *Savunma Sanayiciler Dergileri* Yayını, 78-138. URL: https://inovasyon.org/images/makaleler/pdf/AZ_sader.pdf, Son Erişim Tarihi: 10.05.2025.



Gazili olmak ayrıcalıktır