# BİLGİSAYAR VERİ GÜNLÜKLERİ ÜZERİNE HTEA OTOMASYONU VE ALTERNATİF YÖNTEMLER İLE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

# FMEA AUTOMATION ON COMPUTER LOG DATA AND SOLUTION APPROACHES WITH ALTERNATIVE METHODS

**HALİL İBRAHİM AYAZ**

**Prof. Dr. MURAT CANER TESTİK**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

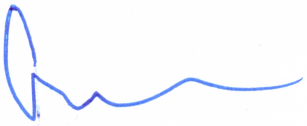
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

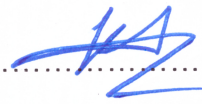
**HALİL İBRAHİM AYAZ**'ın hazırladığı **"Bilgisayar Veri Günlükleri Üzerine HTEA Otomasyonu ve Alternatif Yöntemler ile Çözüm Yaklaşımları"** adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet AKTAN ..... 
(Başkan)

Prof. Dr. Murat Caner TESTİK ..... 
(Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Ceren TUNCER ŞAKAR ..... 
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Oumout CHOUSEINOGLOU ..... 
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Kemal ALAYKIRAN ..... 
(Üye)

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

☒ **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**
(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etseniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

☐ **Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**
(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım taktirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

☐ **Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

22 / 01 / 2018



*Halil İbrahim AYAZ*

*Bu tez çalışması,*

*hayatım boyunca yanımda olan*

*annem Meryem, babam Hasan ve*

*kardeşim Elif'e ithaf edilmiştir.*

# ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04/01/2018

HALİL İBRAHİM AYAZ

# ÖZET

## BİLGİSAYAR VERİ GÜNLÜKLERİ ÜZERİNE HTEA OTOMASYONU VE ALTERNATİF YÖNTEMLER İLE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

**Halil İbrahim AYAZ**

**Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat Caner TESTİK**

**Ocak 2018, 94 Sayfa**

Sistem ve süreç kavramlarının oluşmasından itibaren bunların kalitelerinin artırılması ve sürekli geliştirme çabaları büyük ölçüde önem verilen konular haline gelmiştir. Literatürde ve bu zamana kadar yapılan çalışmalarda kalite ve sürekli geliştirme uğraşları birçok araştırmacı ve yazar tarafından farklı yöntemler ile ele alınmıştır. Bahsedilen iyileştirmeler teknolojik imkânların sınırlı olduğu zamanlarda daha çok uzman çabalarına dayanmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte bilgisayar tabanlı sistem ve süreçlerin tamamına yakın bir kısmında çalışma süresinde oluşan işlemler ve hata kayıtları saklanabilmektedir. Ancak bu işlem ve kayıtlar çok büyük boyutlara ulaşabilmekte ve bu yüzden verilerin arasından yararlı bilgileri elde edebilmek için yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) sistemdeki hataları ve etkilerini tanımlayan, ortaya çıkaran ve araştıran bir kalite aracıdır. Geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilen HTEA'da farklı bölümlerin uzmanlarından oluşan bir HTEA ekibi kurulur. Bu ekip öncelikle hata türlerine karar verir. Ardından kararlaştırılan hata türlerinin etkileri analiz edilir ve analiz edilen hata türlerine farklı risk metrikleri için skorlar verir. Son olarak skor değerleri çarpılarak her bir hata türü için bir risk önceliklendirme sayısı (RÖS) elde edilir. RÖS

değerleri hata türlerinin sistem üzerindeki etkileri olarak değerlendirilir ve buna göre sıralama yapılarak sistemdeki en önemli hata türleri elde edilir.

HTEA bir sistemin herhangi bir aşamasında uygulanabilir. Tasarım aşamasında uygulanacak olursa muhtemel ürün hatalarının engellenmesi, ileriki aşamalarda uygulanması da gerçekleşmiş hataların analizi ve azaltma yöntemleri hakkında bilgi sağlar. Ancak geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilen HTEA birçok açıdan eksiklikler ve yetersizlikler içermektedir. Bu eksikliklerin en başta geleni verilen skorların uzmandan uzmana değişmesi ve dolayısıyla sübjektiflik içermesidir. Daha önceki çalışmalar ağırlıklı olarak RÖS üzerinde yoğunlaşmış ve sübjektif kararların azaltılması için bir öneri getirmemiştir.

Sunulan tez çalışmasında bilgisayar veri günlükleri uygulama alanı olarak seçilerek HTEA'nın adımları otomatikleştirilmeye ve böylece hem sübjektifliğin ortadan kaldırılmasına hem de analizin daha kolay yapılmasına olanak sağlanmaya çalışılmıştır. HTEA'ya başlamadan önce bilgisayarlardan elde edilen verilere bazı önişlemler uygulanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Hata türleri uzmanlar tarafından belirlenmek yerine veri setinden otomatik olarak elde edilmiştir. Bu hata türlerini değerlendirmek için geleneksel yöntemler ile birlikte veri tabanlı objektif risk metrikleri önerilmiştir ve önerilen metriklerin detaylı analizleri yapılmıştır. Gri İlişkisel Analizi (GİA), TOPSIS, VIKOR yöntemleri ve geleneksel HTEA tabanlı alternatif bir yöntem ile risk sıralamaları yapılmıştır. Sonuçlar ve yöntemler karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hata Türleri ve Etkileri Analizi, Bilgisayar Veri Günlükleri, Hata Türleri ve Etkileri Analizi Otomasyonu

# ABSTRACT

## FMEA AUTOMATION ON COMPUTER LOG DATA AND SOLUTION APPROACHES WITH ALTERNATIVE METHODS

**Halil İbrahim AYAZ**

**Master Thesis, Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Murat Caner TESTİK**

**January 2018, 94 Pages**

Since the terms of system and process have emerged, increase of quality of these and efforts for continuously improving them have become significantly important topics. In the literature and the studies that have been carried out up to now, quality and continuous improvement have been handled by using different methods by the researchers and authors. When technological opportunities were very limited, improvements were generally based on the efforts of experts. Along with the technological developments, operations and error records during processing can be stored in almost all the computer based systems. However, operations and records may reach massive sizes and thus new statistical methods have to be developed to obtain useful information from the raw data.

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is a powerful and proactive quality tool for defining, detecting, and identifying potential failure modes and their effects. An FMEA team consisting experts from different departments is organized in carrying out FMEA using traditional methods. This team firstly determines the failure modes. Afterwards, the effects of determined failure modes are analyzed and the analyzed failure modes are scored for different risk metrics. Finally, for each failure mode, a Risk Prioritization Number (RPN) is obtained by multiplying the score values. RPN values are evaluated for the effects of failure

modes and the most important failure modes in the system are determined by ranking the RPN values.

FMEA can be applied in any stage of a system. If FMEA is applied during the design stage, it enables prevention of possible failures. If it is applied at later stages of the system, it provides methods for analyzing and decreasing the failures which have been revealed. However, traditional FMEA consists of many deficiencies and inadequacies in a lot of ways. The leading and the most significant one of these deficiencies is that varying scores caused by different experts, and thus subjective decisions. Former studies were mainly focused on RPN and there was not much done research to decrease subjectiveness of scores decisions.

In this thesis, computer log data domains are considered as application area. It is aimed to automate the stages of the FMEA and thus to remove both subjective decisions as well as making the analysis easier. Initially, the data obtained from the computers were pre-processed to make them fit for an FMEA study. At this stage, noisy and repeat data were removed. Failure modes were determined automatically from this data set instead of subjective expert decisions. For evaluating each failure mode, data based different objective risk metrics were suggested along with traditional methods and the suggested metrics were analyzed in detail. After that, by using Gray Relational Analysis (GRA), TOPSIS, VIKOR methods, and a traditional FMEA based method, risk rankings were ascertained. Results and methods are compared.

**Keywords:** Failure Modes and Effects Analysis, Computer Log Data, Automation of Failure Modes and Effects Analysis

## TEŞEKKÜRLER

Yüksek lisans tezimin yanı sıra lisans dönemimden itibaren akademik çalışmalarımda bana destek sağlayan, sabrı ve geniş bakış açısı ile tezime yön veren akademik danışmanım Prof. Dr. Murat Caner TESTİK'e,

Tezim boyunca yardımlarını esirgemeyen ve gerekli bütün kolaylıkları sağlayan Necmettin Erbakan Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi bölüm başkanım Prof. Dr. Mehmet AKTAN ve bölümümde bulunan diğer öğretim elemanlarına,

Tezimin başlangıcında yardımcı olan ve verileri anlamam konusunda yardımlarını esirgemeyen Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Mehmet HACIBEYOĞLU'na,

Tezim boyunca bana yardımcı olan Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim elemanları Yrd. Doç. Dr. Şaban GÜLCÜ, Öğr. Gör. Vahit TONGUR, Arş. Gör. Murat KARAKOYUN'a

Tez çalışmalarım boyunca manevi desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma,

Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda görevlerini sürdüren ve bende emeği olan bütün hocalarıma ve idari personele,

Her anımda yanımda olan canım aileme,

teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**


ÖZET ..... i

ABSTRACT ..... iii

TEŞEKKÜRLER ..... v

İÇİNDEKİLER ..... vi

TABLOLAR LİSTESİ ..... viii

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... ix

KISALTMALAR VE SEMBOLLER ..... x

1. GİRİŞ ..... 1

1.1. Problem Tanımı ..... 1

1.2. Motivasyon ..... 2

1.3. Tezin Literatüre Katkıları ..... 3

1.4. Tezin Organizasyonu ..... 4

2. GELENEKSEL YÖNTEMLE HTEA ..... 5

2.1. Geleneksel HTEA Uygulama Adımları ..... 5

2.2. Risk Öncelik Sayılarının Hesaplanması ..... 8

2.3. RÖS ile İlgili Eleştiriler ..... 11

3. HTEA'NIN GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK İLERİ ÇALIŞMALAR ..... 14

3.1. Geleneksel HTEA'yı Geliştirmeye Yönelik Çalışmalar ..... 14

3.1.1. Veri Madenciliği ..... 18

3.1.2. Objektif Metrik Ağırlıklarının Belirlenmesi ..... 19

3.1.3. HTEA için Veri Ayrıklaştırma ..... 20

3.2. HTEA ve Gri İlişkisel Analizi ..... 25

3.3. HTEA ve TOPSIS ..... 28

3.4. HTEA ve VIKOR ..... 29

4. METODOLOJİ ..... 31

4.1. Bilgisayar Sunucu Bağlantı Kopuklukları için Veri Tabanlı HTEA Metrikleri ..... 31
4.1.1. Objektif Ağırlıklandırma için Entropi Yöntemi ..... 32
4.2. Geleneksel HTEA Tabanlı Alternatif Yöntem ..... 34
4.3. Gri İlişkisel Analizi ..... 37
4.4. TOPSIS ..... 40
4.5. VIKOR ..... 42
5. ÖRNEK ÇALIŞMA ..... 45
5.1. Bilgisayar Veri Günlükleri ve Kullanım Alanları ..... 45
5.2. Veri Setinin Tanımlanması ve Veri Önişlemleri ..... 47
5.3. Risk Önceliklendirme için Önerilen Metrikler ..... 50
5.3.1. Frekans (F) ..... 50
5.3.2. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması (HAZO) ..... 50
5.3.3. Hatalar Arası Zamanın Standart Sapması (HAZSS) ..... 50
5.3.4. Hataların Devam Etme Süresinin Ortalaması (HDESO) ..... 51
5.3.5. Hataların Birlikteliği (HB) ..... 51
5.4. Önerilen Metriklerin Analizi ..... 51
5.4.1. Objektif Metrik Ağırlıkları için Entropi Yöntemi ..... 56
5.5. Farklı Metotlar ile Bilgisayar Veri Günlüğüne HTEA Uygulamaları ..... 56
5.5.1. Geleneksel HTEA Tabanlı Alternatif Yöntem ve Uygulaması ..... 56
5.5.2. GİA Metodu ile HTEA Uygulaması ..... 59
5.5.3. TOPSIS Metodu ile HTEA Uygulaması ..... 61
5.5.4. VIKOR Metodu ile HTEA Uygulaması ..... 63
5.6. Uygulama Yöntemlerinin Karşılaştırılması ..... 65
6. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER ..... 70
KAYNAKÇA ..... 76
EKLER ..... 81
ÖZGEÇMİŞ ..... 94

# TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Hizmet Sektöründeki HTEA'daki Tahmin Edilebilirlik Metriği için Öneriler [8].. 9
Tablo 2. Hizmet Sektöründeki HTEA'daki Şiddet Metriği için Öneriler [8] ..... 10
Tablo 3. Hizmet Sektöründeki HTEA'daki Frekans Metriği için Öneriler[8] ..... 11
Tablo 4. Geleneksel Metotla Elde Edilebilen RÖS Değerleri ..... 12
Tablo 5. Metriklerin Arasındaki Korelasyon Matrisi ..... 52
Tablo 6. Objektif Metrik Ağırlık Değerleri ..... 56
Tablo 7. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması için Ayrıklaştırılmış Verilerin Dağılımı ..... 57
Tablo 8. Frekans için Ayrıklaştırılmış Verilerin Dağılımı ..... 57
Tablo 9. Hataların Birlikteliği için Ayrıklaştırılmış Verilerin Dağılımı ..... 57
Tablo 10. Geliştirilen Yönteme göre Hata Türlerinin Risk Sıralaması ..... 58
Tablo 11. Gri İlişkisel Analizine göre Hata Türlerinin Risk Sıralaması ..... 60
Tablo 12. TOPSIS Metoduna göre Hata Türlerinin Risk Sıralaması ..... 62
Tablo 13: VIKOR Metodu için En İyi ve En Kötü Metrik Değerleri ..... 63
Tablo 14. VIKOR Metoduna göre Hata Türlerinin Risk Sıralaması ..... 64
Tablo 15. Geleneksel HTEA Tabanlı Alternatif Yöntemin İlk 20 Hata Türü ve Diğer Yöntemler ile Karşılaştırılması ..... 66
Tablo 16. İlk 20 Hata Türü için Spearman Sıralamalı Korelasyon Değerleri ..... 66
Tablo 17. Farklı Yöntemler ile Risk Sıralamaları ..... 71
Tablo 18. İlk 60 Hata Türü için Spearman Sıralamalı Korelasyon Değerleri ..... 72
Tablo 19. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması için Geliştirilmiş Yöntemler ile Yapılan İterasyonlar Sonrası Grup Eleman Sayılarının Değişimi ..... 86
Tablo 20. Hataların Birlikteliği için Geliştirilmiş Yöntemler ile Yapılan İterasyonlar Sonrası Grup Eleman Sayılarının Değişimi ..... 86
Tablo 21. Frekans için Geliştirilmiş Yöntemler ile Yapılan İterasyonlar Sonrası Grup Eleman Sayılarının Değişimi ..... 87
Tablo 22. Farklı Yöntemler ile Elde Edilen Risk Sıralamaları Karşılaştırmaları ve RÖS Değerleri ..... 88
Tablo 23. Öncelikli Değerlendirilicek Hata Türleri ..... 93

# ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: 10 Faktör Kuralına göre Hatanın Maliyet Değişimi [2] ..... 7
Şekil 2. Önişlemler Akış Diyagramı ..... 33
Şekil 3. Alternatif Yöntem Akış Diyagramı ..... 37
Şekil 4. SNMP Hata Türü için Bir Örnek ..... 47
Şekil 5. PERL Hata Türü için Bir Örnek ..... 47
Şekil 6. SERVER Hata Türü için Bir Örnek ..... 48
Şekil 7. CACTI Programında Veri Aktarımı Esnasındaki Kopukluklara Bir Örnek ..... 48
Şekil 8. Veri Önişleme Adımları Sözde Kodu ..... 49
Şekil 9. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması için Nokta Grafiği ..... 53
Şekil 10. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması için Nokta Grafiği (Uç Değerler Çıkarılmış) 53
Şekil 11. Frekans için Nokta Grafiği ..... 54
Şekil 12. Frekans için Nokta Grafiği (Uç Değerler Çıkarılmış) ..... 54
Şekil 13. Hataların Birlikteliği için Nokta Grafiği ..... 55
Şekil 14. Hataların Birlikteliği için Nokta Grafiği (Uç Değerler Çıkarılmış) ..... 55
Şekil 15. Alternatif Yöntemin Sözde Kodu ve Karmaşıklığı ..... 68
Şekil 16. Sunuculardaki Öncelikli Hataların Yüzde Grafikleri ..... 73
Şekil 17. Hatalar Arası Geçen Süre için Uyum Derecesi Grafikleri ..... 81
Şekil 18. Hataları Devam Etme Süresi için Uyum Derecesi Grafikleri ..... 82
Şekil 19. Hatalar Arasın Zamanın Standart Sapması için Uyum Derecesi Grafikleri ..... 83
Şekil 20. Frekans için Uyum Derecesi Grafikleri ..... 84
Şekil 21. Hataların Birlikteliği için Uyum Derecesi Grafikleri ..... 85

## KISALTMALAR VE SEMBOLLER

**Kısaltmalar**

| | |
|---|---|
| AY | Alternatif Yöntem |
| ÇKKV | Çok Kriterli Karar Verme |
| EAA | Eşit Aralıklı Ayrıklaştırma |
| EFA | Eşit Frekanslı Ayrıklaştırma |
| F | Frekans |
| GİA | Gri İlişkisel Analizi |
| GST | Gri Sistem Teorisi |
| HB | Hataların Birlikteliği |
| HAZO | Hatalar Arası Zamanın Ortalaması |
| HAZSS | Hatalar Arası Zamanın Standart Sapması |
| HDESO | Hataların Devam Etme Süresinin Ortalaması |
| HTEA | Hata Türleri ve Etkileri Analizi |
| RÖS | Risk Önceliklendirme Sayısı |

**Semboller**

| | |
|---|---|
| $\chi^2$ | İki Küme Arasındaki İlişki |
| $\gamma_{0i}(j)$ | Gri İlişkisel Katsayısı |
| $\Gamma_{0i}$ | Gri İlişkisel Derecesi |
| $\xi$ | Gri İlişkisel Katsayı Çarpanı |
| $e_j$ | j. Metriğin Entropi Değeri |

# 1. GİRİŞ

Hata türleri ve etkileri analizinin (HTEA) ilk kullanımı, 1949'da Amerika Birleşik Devletleri'nde askeri ve savunma amaçlı olmuştur [1]. Daha sonra Apollo uzay programında bazı riskleri azaltmak için kullanılmıştır. Bu yöntem faydalı sonuçları ile 1970'li ve 1980'li yıllarda Ford Motor Şirketleri tarafından otomotiv endüstrisinde de kullanılmaya başlanmıştır. İlk kullanım amacı askeri ve savunma sanayi sektörü olsa da günümüzde birçok alanda risk önceliklendirmek ve riskleri azaltmak için etkin bir şekilde HTEA kullanılmaktadır [2].

HTEA hataların ve etkilerin meydana çıkarılmasında, sorgulanmasında, önceliklendirilmesinde ve azaltılmasında önemli bir kalite aracıdır. Önceliklendirilen risklerde sisteme en çok zarar veren hata türleri belirlenmekte ve bu riskleri azaltmak için çalışmalar yapılmaktadır.

## 1.1. Problem Tanımı

HTEA 10 adımdan oluşan bir süreç olarak ele alınabilir. Bu adımlar hataların tespiti ile başlar ve risk öncelik sayılarının elde edilmesi ile tamamlanır. Fakat geleneksel yöntemler ile uygulanan HTEA'da bazı kısıtlamalar ve eksiklikler bulunmaktadır. İlk olarak, bu sürecin çoğu zaman manuel olarak yapılmasından ve sübjektif değerlendirmelerden dolayı süreç hataya yatkın bir hal almaktadır. Uzmanlar tarafından elde edilen hata türlerinde bazı hatalar değerlendirmeye alınmayabilmekte, bazı hata türlerinin değerlendirilmesinde de verilen sübjektif değerlendirmeler yüzünden hata türlerinin sıralaması değişebilmektedir.

İkinci olarak, yöntemin manuel olarak uygulanmasına bağlı olarak, yöntemin uygulanması uzun zaman alabilmektedir. Farklı birimlerden uzmanların bir araya gelmesi ve beyin fırtınası toplantıları ciddi miktarlarda da zaman almaktadır. Buna ek olarak yöntemin diğer adımlarının da manuel olarak yapılması önemli zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Bu yüzden yöntemin uygulanma alanları kısıtlanmaktadır.

Bir diğer problem ise risklerin değerlendirilmesi adımında metriklere verilen değerlerin oldukça sübjektif bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Farklı uzmanlardan alınan değerlendirmelerde farklar oluşabilmektedir. Bu da yöntemin uygulanan alana uygunluğu üzerinde çelişkiler yaratmaktadır.

Metriklerin ağırlıklandırılması da geleneksel yöntemdeki önemli kısıtlamalar arasındadır. geleneksel HTEA'da metriklerin ağırlıkları ya eşit kabul edilmekte ya da uzmanların

sübjektif değerlendirmeleri sonucunda elde edilmektedir. Bu durumda metriklerin, hata türlerinin sıralamalarındaki gerçek etkileri ihmal edilmektedir.

Son olarak Risk Önceliklendirme Sayısının (RÖS) elde edilme yöntemi önemli problemlere sebep olabilmektedir. RÖS üç ordinal değerin çarpımı ile elde edilmektedir ve bu da sorgulanması gereken bir konudur. Örneğin iki hata türü için şiddet metriği değerleri 4 ve 8 olsun. Bu, ikinci hata türünün birinci hata türünden iki kat daha şiddetli olduğu anlamına gelmemektedir. Bunun yanı sıra, çarpımlar sonucunda 1 ile 1000 arasında RÖS değerleri elde edilmektedir. Fakat aradaki 1000 olası değerden sadece 120 tanesi çarpma sonucu elde edilebilmektedir.

Bahsedilen problem ve kısıtlamalar yöntemin uygulanma alanlarının azalmasına, yöntemin muhtemel çıktılarının kalitesinin düşmesine ve yöntemin geçerliliği hakkında sorgulamalara neden olmaktadır. Bunların yöntem üzerindeki etkilerinin azaltılmasına yönelik geliştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

## 1.2. Motivasyon

Literatürde yapılmış olan çalışmalara göre HTEA zaman alıcı ve zor bir yöntem olarak değerlendirilmiştir. Fakat yapılan bazı iyileştirme ve geliştirme çalışmaları ile yöntem daha basit ve daha etkili bir hale getirilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar arasında HTEA'da bulunan kağıt işlerini ve adımları azaltmak için internet tabanlı bir HTEA [3] öngörülmüş, hataları prototip aşamasından önce bulabilmek için otomatikleştirme yapılmaya çalışılmıştır [4]. Bahsedilen çalışmalara ek olarak uzun dönemde HTEA'nın uygulamasını kolaylaştırmak amacıyla bilgi temelli [5] yöntemler de önerilmiştir. Diğer bazı çalışmalarda HTEA'yı alt sistemlere bölerek yöntemi basitleştirmeye ve bu sayede otomatikleştirilmesinin kolaylaştırmasına yönelik çalışmalar [6] yapılmıştır. Ayrıca birlikte gerçekleşen hata türlerinin daha kolay bir şekilde bulunmasına yönelik çalışmaların örneklerine de rastlanabilmektedir [7].

Bu çalışmaların incelenmesiyle HTEA'nın adımlarının otomatikleştirilmesinin oldukça faydalı sonuçlar sağlayacağı görülmüştür. Bu amaçla daha objektif ve son kullanıcı tarafından kolaylıkla uygulanabilecek bir yöntem için veri temelli bir HTEA'nın geliştirilmesi hedeflenmiştir. Uygulama alanı olarak bilgisayar sunucularından oluşan bir sistem ele alınmış, bilgisayar veri günlükleri kullanılarak HTEA için adımların otomatik bir şekilde gerçekleştirilebileceği değerlendirilmiştir.

## 1.3. Tezin Literatüre Katkıları

HTEA ilk kullanımından itibaren sürekli bir geliştirilme süreci içerisinde olmuştur. Bu tez çalışmasının literatürdeki çalışmalardan farklı yönleri ve çalışmanın literatüre katkıları aşağıda özetlenmiştir.

Bu tez çalışmasının temel amacı HTEA analizini bir bütün olarak ele alıp, adımlarının olabildiğince otomatikleştirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda adımların otomatikleştirilmesi için birliktelik analizi, veri ayrıklaştırma, uç nokta analizi ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca risklerin önceliklendirilmesi aşamasında veri tabanlı alternatif yöntem (AY) geliştirilmiştir. Özellikle verilerin temizlenmesi, işlenmeye hazır hale getirilmesi, hata türlerinin elde edilmesi ve önceliklendirilmesi adımlarında kullanılan yöntemler büyük kolaylıklar sağlamıştır. Bu sayede yöntemin daha az hata ve daha kısa sürede uygulanması sağlanmıştır.

HTEA içindeki sübjektif değerlendirmelerin azaltılması diğer bir katkıdır. Geleneksel HTEA'da hata türlerinin belirlenmesi o alanda uzman kişiler tarafından sağlanmaktadır. Fakat bazı durumlarda süreçte gözlenmiş veya gözlenmesi muhtemel hatalar değerlendirilmeye alınmamaktadır. Ayrıca hata türlerinin risk değerlendirmesi adımında verilen skorlar tamamen sübjektif değerlendirmelerden oluşmaktadır. Bahsedilen durumları çözmek için bilgisayar veri günlüklerinde kayıtları bulunan bağlantı kopuklukları hata türü olarak değerlendirilmiş ve veri tabanında yer alan geçmiş hata kayıtları kullanılarak objektif bir şekilde skorlar elde edilmeye çalışılmıştır. Skorların elde edilmesi aşamasında veri ayrıklaştırma yöntemleri kullanılarak objektif bir skor politikası hedeflenmiştir. RÖS değerlendirilmesi aşamasında ise geleneksel HTEA tabanlı alternatif bir yöntem, ek olarak farklı çok kriterli karar verme yöntemleri ile risk değerlendirmeleri kullanılmıştır.

Literatürdeki birçok çalışma risk değerlendirmesi için geleneksel HTEA'daki üç metriği kullanmaktadır. Fakat bu metrikler veri tabanlı bir HTEA için yetersiz kalmaktadır. Özellikle tahmin edilebilirlik metriği bazı konularda eksik kalmaktadır. Bu yüzden veri tabanlı risk metriklerinin geliştirilmesi de bu çalışmanın amaçları arasındadır. Veri tabanlı metrikler arasında veriden elde edilebilecek bilgiler düşünülmüş, veriyi tanımlayacak ve anlamlı sonuçlar sağlayacak metrikler geliştirilmiştir.

Son olarak süreçlerde görülen hatalar birbirini tetikleyebilmektedir. Bir hata türü başka bir hata türünün gerçekleşme sebebi olabilirken, birden fazla hata türü bir hatanın meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu durumda hata türleri arasındaki birliktelik analizi önemli

bir hal almaktadır. Bu durumda birlikte gerçekleşen hata türleri birliktelik analizi ile bulunup, bu doğrultuda bir risk değerlendirme metriği geliştirilmiştir.

## 1.4. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışmasının geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir. 2. bölümde geleneksel yöntemler ile ilgili detaylı bilgilere ve risk önceliklendirme sayıları ile ilgili eleştirilere yer verilmiştir. 3. bölümde HTEA'yı geliştirmeye yönelik çalışmalar incelenmiş, geliştirilen alternatif yöntemin arkasında çalışan yöntemlerden bahsedilmiş ve çeşitli çok kriterli karar verme yöntemleri ile birlikte uygulanan HTEA çalışmalarından bahsedilmiştir. 4. bölümde tez çalışmasında kullanılan yöntemlerin adımları hakkında genel bilgiler verilmiştir. 5. bölümde bilgisayar veri günlüklerinde oluşan bağlantı kopukluklarına HTEA uygulama örnekleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Burada HTEA, geleneksel HTEA tabanlı alternatif yöntem ve farklı 3 çok kriterli karar verme yöntemi ile uygulamıştır. Son olarak, 6. bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar, tartışılmış ve gelecek çalışmalar için bazı öneriler sunulmuştur.

# 2. GELENEKSEL YÖNTEMLE HTEA

Bir sistemi ve süreci iyileştirmenin en temel yolu sistemde var olan ya da potansiyel hataların bulunup veya tahmin edilip azaltılmasıdır. Ancak sistemdeki hataların belirlenerek azaltılması oldukça zor bir süreçtir. Bu yüzden iyileştirmeler için bazı yöntemler gerekmektedir. HTEA sistemdeki hataların belirlenmesi, sıralanması ve etkilerinin azaltılması konusunda akla gelen ilk yöntemlerdendir. Yöntem bir iyileştirme yöntemi olduğundan dolayı sistemler ve süreçler üzerinde önemli faydalar sağlamaktadır. Bu faydaların bazılarına örnek verilecek olunursa,

- Sistem veya süreç üzerindeki riskleri azaltır,
- Ürün kalitesinin arttırılmasını sağlar,
- Şirket profiline pozitif katkılar sağlar,
- Müşteri memnuniyetini artırır,
- Ürünlerin üretim maliyetini ve süresini azaltır,
- Önemli hataların tespitini kolaylaştırır,
- En iyi sistem tasarımının seçilmesini sağlar [8].

HTEA yukarıda bahsedilen muhtemel faydaların yanında bazı eksiklikler ve kısıtlamaları içermektedir. Yöntemin manuel olarak yapılması, yöntemin doğası sebebiyle hataya yatkın bir analiz olması, uygulanması için uzun zamanlar gerektirebilmesi gibi durumlar yöntemin uygulanma alanlarını daraltan sebepler arasındadır.

## 2.1. Geleneksel HTEA Uygulama Adımları

Geleneksel yöntemler ile uygulanan HTEA 10 adımlık bir süreçten oluşmaktadır. Bu adımlar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

*Adım 1 – Süreç veya ürün hakkında detaylı araştırma*

HTEA, farklı uzmanlık alanlarında oluşan bir ekibin oluşturulmasıyla başlar ve HTEA süreci bu ekip tarafından yürütülür. Bu adımda, HTEA bir ürün üzerine uygulanacak ise HTEA ekibi ürünün ayrıntılı planını; HTEA bir süreç üzerine uygulanacak ise ekip bu sürecin akış diyagramını inceler. Ayrıntılı plan veya akış diyagramı mevcut değil ise, ekip bir taslak hazarlar veya prototip yapar. Akış diyagramları ve ayrıntılı planlar bütün ekibin süreç veya ürün üzerinde yoğunlaşmasına olanak sağlamaktadır. Yapılan incelemelerden sonra ayrıntılı plan ya da akış diyagramı gerçek sistem ya da ürün ile karşılaştırılır.

*Adım 2 – Potansiyel hata türleri için beyin fırtınası yapılması*

Ön hazırlığın tamamlanmasının ardından beyin fırtınası kısmı başlar. Ekipteki herkesin süreci ya da ürünü anlaması sağlandıktan sonra ekip üyeleri, süreci ya da ürünü etkileyebilecek potansiyel hata türlerini araştırmaya başlar. Bu adımda potansiyel hata türleri için daha önceki hata kayıtlarından ya da geri çağırılan ürünlerden yardım alınabilir.

Büyük ve karmaşık sistemlerde ürün ya da süreçler birçok alt sistem veya malzemeden meydana geldiği için, potansiyel hata türlerini bulmak kolay olmayacaktır. Ayrıca bu tip durumlarda hatalar birbirini de etkileyebilmektedir. Hataları tek bir olay olarak düşünmek yerine, hata kümeleri oluşturup bu kümelerin değerlendirilmesi daha sağlıklı sonuçlar alınmasına yardımcı olacaktır. Büyük ve karmaşık sistemler için, HTEA ekibi alt gruplara bölünebilir ya da süreç veya ürün daha küçük, kolay anlaşılır parçalara ayırılabilir. Bu işlemlerin tamamlanmasına müteakip bulunan hata türleri HTEA kâğıtlarına aktarılır.

*Adım 3 – Her bir hata türünün potansiyel etkilerinin listelenmesi*

Bu adımda, ekip her bir hata türünün potansiyel etkilerini tahmin etmeye çalışır. Farklı hata türleri, süreç ya da ürün üzerinde farklı etkilere sebep olmaktadır. Yani, bir hata türü sadece bir etkiye sebep olurken, farklı bir hata türü birden fazla etkiye sebep olabilmektedir. Bir başka deyişle, bazı hata türleri yerel etkilere sebep olurken, bazıları global etkilere sebep olabilmektedir. Global etkilere sahip hata türleri daha dikkatli incelenmeli ve diğer fonksiyonlar ve bileşenler üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde araştırılmalıdır. Bu adım daha sonraki adımları yüksek oranda etkilediğinden çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

*Adım 4 – Şiddet metriğinin skorlarının hesaplanması*

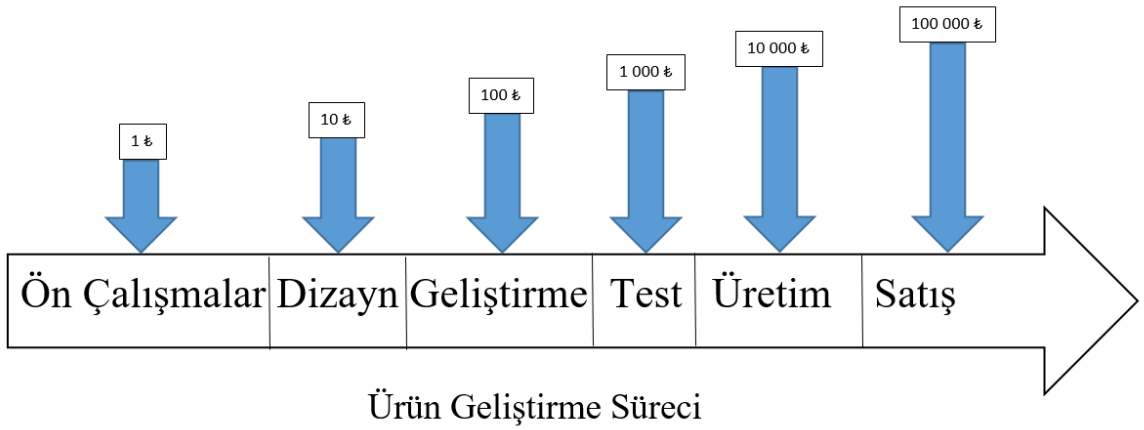
Şiddet metriği, bir hata türünün son kullanıcı ya da süreç üzerindeki etkisidir. Bir diğer deyişle, eğer bir hata türü gerçekleşirse ne tür sonuçların meydana çıkacağı üzerine yapılan bir değerlendirmedir. Objektif kriterler olmadığı için şiddet metriğinin skoruna karar verilmesi ve objektif sonuçların elde edilmesi zordur. Bu konuda geçmiş hata kayıtlarından faydalanılması ya da maliyet tabanlı çıkarımlar yapılması ekibin işini kolaylaştıracaktır.

*Adım 5 – Frekans metriğinin skorlarının hesaplanması*

Frekans metriği, bir hata türünün belirli bir zaman diliminde ne kadar sıklıkla gözlenebileceğine ilişkin tahmin değeridir. Bu metrik türü için en uygun tahmin etme yöntemi geçmiş hata kayıtlarının kullanılmasıdır. Geçmiş hata kayıtlarına ulaşılamadığı durumlarda HTEA ekibi olabildiğince mantıklı tahminler üretmeye çalışır.

*Adım 6 – Tahmin edilebilirlik metriğinin skorlarının hesaplanması*

Tahmin edilebilirlik değerlendirilmesi en zor olan metrik türüdür. En genel tanımı ile bir hatanın gerçekleşmeden önce tahmin edilmesi üzerine geliştirilmiş bir metrik türüdür. Herhangi bir objektif yargı olmaması sebebiyle birlikte, ekibin skorları tahmin etmesi oldukça zordur. Ancak, doğru tahminler ile en çok fayda sağlayabilecek metrik türüdür. Çünkü 10 faktör kuralına göre [2] hatanın ileriki aşamalarda ortaya çıkması ya da bulunması çok daha büyük etkilere ve maliyetlere sebep olacaktır. Bu kural Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir. Buradan da görüleceği üzere her bir adım sonrasında hatanın maliyeti 10 kat artmaktadır.




**Şekil 1: 10 Faktör Kuralına göre Hatanın Maliyet Değişimi** [2]

*Adım 7 – Risk Öncelik Sayılarının (RÖS) hesaplanması*

RÖS değerleri, elde edilen hata türlerinin sıralanması için şiddet, frekans ve tahmin edilebilirlik metriklerinin çarpımıyla elde edilmektedir. RÖS, 1 ile 1000 arasında değerler almaktadır. RÖS değerleri büyüdükçe, hata türü öncelik sırasında daha üst sıralara çıkar. Tek başına anlamsız nominal bir değer olan RÖS değerleri diğer hata türlerinin RÖS değerleri ile karşılaştırılmasıyla ordinal veri haline gelir ve anlam kazanır.

*Adım 8 – Öncelikli hata türlerine karar verilmesi*

Her bir hata türünün RÖS hesaplanmasının ardından bu değerler büyükten küçüğe doğru sıralanır. RÖS büyüdükçe, ilgili hata türünün risk değeri de artmaktadır. Sıralama işleminden sonra, HTEA ekibi tarafından öncelikli hata türleri belirlenir. Öncelikli hata türlerinin belirlenmesi aşamasında Pareto grafiğinden ya da bir kesme noktasından faydalanılabilir.

*Adım 9 – Önlemlerin alınması*

Öncelikli hata türlerinin belirlenmesinin ardından, ilgili hata türünün üç metrik türünden de aldığı skorları düşürmek tercih edilen bir durumdur. Fakat bu her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda aşamalı bir azaltma yöntemi uygulanır. Aşamalı yöntemde ilk olarak tahmin edilebilirlik metriğinin skoru azaltılmaya çalışılır. Çünkü bir hatanın önlenmesi, hata gerçekleştiğindeki olası sonuçlarını tamir etmekten daha önemli ve daha karlıdır. Daha sonra şiddet metriğinin skor değeri azaltılmaya çalışılır. Burada şiddet metriği frekans metriğine göre daha yıkıcı sonuçlar doğurabileceği için şiddet metriğine öncelik verilmiştir. Son olarak frekans metriğinin skoru azaltılmaya çalışılır. Ardından diğer hata türleri için aynı işlemler uygulanır.

*Adım 10 – Alınan önlemlerden sonra tekrar RÖS değerlerinin hesaplanması*

Metriklerin skor değerlerinin azaltılmasının ardından yeni ve eski RÖS karşılaştırılır ve aradaki farka bakılır. Söz konusu fark tatmin edici düzeyde büyük değilse, HTEA yöntemi sisteme ya da ürüne tekrar uygulanmalıdır.

## 2.2. Risk Öncelik Sayılarının Hesaplanması

HTEA'nın en önemli adımlarından birisi risk öncelik sayılarının belirlenmesidir. Risk sıralamaları ve alınacak önlemler söz konusu sayılar göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Geleneksel HTEA'da risk sıralaması RÖS'e göre yapılmakta olup sayılar şiddet, frekans ve tahmin edilebilirlik metriklerinin önem derecelerine göre birden ona kadar aldığı değerlerin çarpılmasıyla elde edilir.

Tahmin edilebilirlik metriğinin skorunun belirlenmesi oldukça zor bir işlemdir. Tablo 1'de hizmet sektöründe uygulanan HTEA'daki tahmin edilebilirlik metriği için öneriler verilmiştir [8]. Tablo 1'den de görüleceği üzere geleneksel HTEA'da metrikler için objektif değerlendirme kriterleri yoktur. Örneğin "kısmen yüksek" ile "orta" arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Geleneksel HTEA'da diğer bir metrik türü de şiddettir. Bu metrik bir hata türünün görülmesi durumunda ortaya çıkacak zarar miktarı olarak tanımlanabilir. Literatürdeki çalışmaların önemli çoğunluğu şiddet metriğine daha çok önem vermiştir. Tablo 2'de hizmet sektöründe uygulanan HTEA'daki tahmin edilebilirlik metriği için öneriler verilmiştir [8].

**Tablo 1. Hizmet Sektöründeki HTEA'daki Tahmin Edilebilirlik Metriği için Öneriler** [8]

| **Tahmin Edilebilirlik** | **Sıra** | **Kriter** |
|---|---|---|
| Neredeyse kesin | 1 | Hata yürürlükteki kontrol mekanizmalarıyla neredeyse her zaman gerçekleşmeden önce tahmin edilebilir. |
| Çok yüksek | 2 | Hata yürürlükteki kontrol mekanizmaları ile çok yüksek bir ihtimal ile gerçekleşmeden önce tahmin edilebilir. |
| Yüksek | 3 | Hata yürürlükteki kontrol mekanizmaları ile yüksek ihtimal ile tahmin edilebilir. |
| Kısmen yüksek | 4 | Hata yürürlükteki kontrol mekanizmaları ile kısmen yüksek ihtimal ile tahmin edilebilir. |
| Orta | 5 | Hata yürürlükteki kontrol mekanizmaları ile orta düzey ihtimal ile tahmin edilebilir. |
| Düşük | 6 | Hata yürürlükteki kontrol mekanizmaları ile düşük ihtimal ile tahmin edilebilir. |
| Az | 7 | Hata yürürlükteki kontrol mekanizmaları ile az bir ihtimal ile tahmin edilebilir. |
| Çok az | 8 | Hata yürürlükteki kontrol mekanizmaları ile çok az bir ihtimal ile tahmin edilebilir. |
| Pek az | 9 | Hata yürürlükteki kontrol mekanizmaları ile pek az bir ihtimal ile tahmin edilebilir. |
| Neredeyse imkansız | 10 | Hatayı önceden tahmin edebilmek için bilinen bir yöntem yoktur. |

Geleneksel HTEA'daki son metrik bir hata türünün görülme sıklığıdır. Frekans metriğinin belirlenmesi diğer metriklere göre biraz daha kolaydır. Literatürdeki kimi çalışmalarda frekans metriği için bazı kesme noktaları belirlenmiştir. Örneğin, bir hata türü yılda bir kez gözleniyor ise frekans değeri neredeyse hiç gözlenmez olacaktır. Tablo 3'te hizmet sektöründe uygulanan HTEA'daki tahmin edilebilirlik metriği için öneriler verilmiştir [8].

**Tablo 2. Hizmet Sektöründeki HTEA'daki Şiddet Metriği için Öneriler** [8]

| Etki (Şiddet) | Sıra | Kriter |
|---|---|---|
| Etkisiz | 1 | Ürün ya da ara mamullerde etkisi yoktur |
| Çok az etkili | 2 | Hata müşteri tarafından çok yüksek ihtimalle fark edilmeyecektir. Ürünün ya da servisin üzerinde çok az etkilidir. Yaşamsal olmayan hatalar gözlenebilir. |
| Az etkili | 3 | Hata az derecede rahatsız edicidir. Ürünün ya da servisin performansı üzerinde az etkilidir. Genellikle yaşamsal olamayan hatalar gözlenir. |
| Minör etkili | 4 | Müşteri minör rahatsızlıklar yaşayabilir. Ürünün ya da servisin performansı üzerinde minör etkilidir. Yaşamsal olmayan hatalar sürekli gözlenir. Dikkate alınmasına gerek yoktur. |
| Kısmen etkili | 5 | Müşteri bazlı tatminsizlikler, deneyimler. Ürünün ya da servisin performansı üzerinde kısmen etkilidir. Dikkate alınması ve tamir edilmesi gereken yaşamsal olmayan hatalar gözlenir. |
| Önemli etkili | 6 | Müşteri rahatsızlıklar yaşar. Ürünün ya da servisin değeri düşer fakat onarılabilir ve güvenlidir. |
| Majör etkili | 7 | Müşteri aldığı hizmetten rahatsızdır. Ürünün ya da servisin performansı üzerinde majör etkilidir ve tekrar üzerinden geçme gerekebilir. |
| Aşırı etkili | 8 | Müşteri aldığı hizmetten oldukça rahatsızdır. Ürünün ya da servisin performansı üzerinde aşırı etkilidir. Bazı ekipmanlar da zararlar gözlenir. Ürün ya da servis tamamlanmamıştır. Sistem tamamlanmamıştır. |
| Ciddi etkili | 9 | Potansiyel tehlikeli etki, ürün ya da servis üzerinde aksilik gözlenmeden durdurulabilmesi olarak tanımlanabilir. Takip eden operasyonlarda bozulmalar gözlenir. |
| Tehlikeli etkili | 10 | Tehlikeli etki, güvenlikle alakalı ani hatalar gözlenmesi olarak tanımlanabilir. Yasal düzenlemelere uymaz. |

**Tablo 3. Hizmet Sektöründeki HTEA'daki Frekans Metriği için Öneriler**[8]

| Frekans | Sıra | Kriter |
|---|---|---|
| Neredeyse hiç | 1 | Neredeyse hiç gözlenmez. |
| Nadiren | 2 | Çok nadiren gözlenir. |
| Çok az | 3 | Çok az sayıda gözlenir. |
| Az | 4 | Az sayıda gözlenir. |
| Düşük | 5 | Düşük sayıda gözlenir. |
| Orta | 6 | Ortalama sayıda gözlenir. |
| Kısmen yüksek | 7 | Kısmen yüksek sayıda gözlenir. |
| Yüksek | 8 | Yüksek sayıda gözlenir. |
| Çok yüksek | 9 | Çok yüksek sayıda gözlenir. |
| Neredeyse her zaman | 10 | Neredeyse her zaman gözlenir. |

Metriklerin skor değerlerinin elde edilmesinden sonra, bu değerler RÖS'yi elde etmek için çarpılır ve 1 ile 1000 arasında bir değer elde edilir. Hata türleri bu değerlere göre sıralanır. Daha yüksek değerler daha fazla riski göstermektedir. İlk sıradaki hata türü en önemli ve ilk önce ilgilenilmesi gereken hata türüdür.

## 2.3. RÖS ile İlgili Eleştiriler

Yukarıda bahsedilen adımlar her ne kadar kolay uygulanabilir ve basit gözükse de literatürde çeşitli yönlerden eleştirilmiştir. Bu eleştiriler daha ziyade karar ve değerlendirmelerin sübjektif yapılması ile RÖS değerlerinin hesaplanma yöntemi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Söz konusu eleştiriler aşağıda özetlenmiştir.

- Geleneksel HTEA'da en çok eleştirilen konulardan birisi RÖS'ün hesaplanması sırasında kullanılan çarpma işlemi yöntemidir. Metriklerin farklı kombinasyonları aynı RÖS'ü üretmektedir. Örneğin iki hata türü için metrik değerleri sırasıyla şiddet, frekans ve tahmin edilebilirlik skorları *(8, 2, 2)* ve *(4, 4, 2*) olsun. Bu iki farklı hata türü için hesaplanan RÖS eşit olarak 32 olacaktır. Fakat ilk hata türünün şiddet metriği değeri oldukça yüksek (8) ve hata türü, metriklerden ortalama değerler almış diğer hata türüne göre daha önemli olmalıdır [9].
- Geleneksel HTEA'da, RÖS üç risk metriğinin çarpımı olarak ifade edilmektedir. Fakat bu 3 risk metriğinin çarpılması uygun olmayabilir. Nominal verilerin ordinal verilere çevrilmesi aşamasında metrikler arasındaki göreceli önem dikkate

alınmamakta ve verilen metrik skorları üzerinde kesin bir sonuca varılamayacağı konularında problemler yaşanmaktadır[10]. Çalışmada bahsedilen diğer problemler diğer maddelerde daha açık bir şekilde ele alınmıştır.

- Geleneksel HTEA'daki RÖS ile ilgili bir diğer eleştiri ise metriklerdeki değişimlerin RÖS üzerinde farklı etkiler göstermesidir. Örneğin, metrik skorları *(4, 10, 10)* olan bir hata türü için şiddet skoru 1 birim arttırıldığında RÖS üzerindeki değişim 100 birim olmaktadır. Fakat metrik değerleri *(4, 3, 1)* olan bir hata türü için aynı metrik üzerindeki 1 birimlik değişim RÖS üzerinde sadece 3 birimlik bir artışa neden olmaktadır. İki hata türü için aynı metrik üzerinde aynı miktardaki değişim RÖS üzerinde farklı artışlara neden olabilmektedir
- Geleneksel metotla hesaplanan RÖS değerleri 1 ile 1000 arasında değerler almaktadır. Ancak aradaki 1000 değerden sadece 120 tanesi elde edilebilecektir. Örneğin, 11, 23, 999 gibi değerler elde edilemeyecektir. Elde edilebilecek RÖS değerleri Tablo 4'te detaylı olarak incelenebilir.
- Bahsedilen metotla ilgili önemli bir diğer eksiklik ise metodun neden olduğu başarısız önceliklendirmedir. Örneğin, farklı hata türleri aynı metrik türü için biri 2 diğeri 4 değerini alırken iki hata türü arasında biri diğerinden 2 kat önemli gibi bir anlam çıkmaktadır. Her ne kadar metrik değeri 2 kat artış gösterse de risk değeri iki kat önemli hale gelmemektedir.
- Geleneksel metotta metrikler 1 ile 10 arasında değerler almaktadır. Fakat burada objektif bir puanlama söz konusu değildir. Örneğin, aynı hata türünün aynı metriği için bir uzman 4 skorunu verirken bir diğeri 6 skorunu verebilmektedir. Tamamen sübjektif yargılardan oluşan puanlama sistemi oldukça önemli bir problemdir ve sorgulanması gerekmektedir.

**Tablo 4. Geleneksel Metotla Elde Edilebilen RÖS Değerleri**

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 14 | 15 | 16 | 18 | 20 | 21 | 24 | 25 | 27 |
| 28 | 30 | 32 | 35 | 36 | 40 | 42 | 45 | 48 | 49 |
| 50 | 54 | 56 | 60 | 63 | 64 | 70 | 72 | 75 | 80 |
| 81 | 84 | 90 | 96 | 98 | 100 | 105 | 108 | 112 | 120 |
| 125 | 126 | 128 | 135 | 140 | 144 | 147 | 150 | 160 | 162 |
| 168 | 175 | 180 | 189 | 192 | 196 | 200 | 210 | 216 | 224 |
| 225 | 240 | 243 | 245 | 250 | 252 | 256 | 270 | 280 | 288 |
| 294 | 300 | 315 | 320 | 324 | 336 | 343 | 350 | 360 | 378 |
| 384 | 392 | 400 | 405 | 420 | 432 | 441 | 448 | 450 | 480 |
| 486 | 490 | 500 | 504 | 512 | 540 | 560 | 567 | 576 | 600 |
| 630 | 640 | 648 | 700 | 720 | 729 | 800 | 810 | 900 | 1000 |

Bahsedilen eleştirilerin yanında hata türlerinin belirlenmesi aşamasında alınan kararların sübjektif olması, benzer şekilde metriklerin değerlendirilmesi aşamasında değerlendirmelerin de sübjektif olması eleştiri konusu olmaktadır. Ayrıca söz konusu sübjektif karar ve değerlendirmelere istinaden kimi durumlarda farklı bölümlerden oluşan ekibin bir hata türü ve etkisi üzerinde fikir birliğine varma süreci uzun ve yorucu bir hale gelmektedir. İlave olarak bu adımlar çoğu zaman emek yoğun ve zaman alıcı bir hale gelmektedir. Birçok araştırmacı bu yönleri iyileştirmek için çalışmalarda bulunmuştur. Bu çalışmalar bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

# 3. HTEA'NIN GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK İLERİ ÇALIŞMALAR

HTEA'yı geliştirmek için birçok yöntem önerilmiştir. Bu çalışmalar aşağıdaki kategorilere ayrılabilir.

- Geleneksel HTEA'nın uygulamasını kolaylaştırmaya ve uygulama süresini kısaltmaya yönelik çalışmalar: Bu çalışmalarda genel olarak yeni yöntemlerden ziyade var olan yöntemin hızlı çalışması veya adımların kolaylaştırılması amaçlanmıştır.
- HTEA'yı farklı yöntemler ile birleştirip daha sağlıklı sonuçlar elde etmeye yönelik çalışmalar: Burada geleneksel HTEA'nın eksiklikleri üzerinde durulmuş ve farklı risk sıralama ve metrik ağırlıklandırma yöntemleri önerilmiştir. Ayrıca çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılarak daha objektif sıralamalar elde edilmesi beklenmiştir.

## 3.1. Geleneksel HTEA'yı Geliştirmeye Yönelik Çalışmalar

Yapılan iyileştirmelerin birçoğu bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle önem kazanmıştır. Bilgisayar teknolojisinin ilerlemeye başlamasıyla birlikte önceden kâğıtlar üzerinde tutulan HTEA kayıtları, bilgisayar ortamına aktarılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda HTEA'dan elde edilen sonuçlar, HTEA'nın bilgisayarlar yardımıyla sürdürülmesi ile daha az maliyet, yüksek doğruluk oranı ve zamandan tasarruf edilebileceğini göstermiştir [11].

Bilgisayar teknolojisinin HTEA üzerindeki bir diğer etkisi kâğıt işlerinin azalması yönünde olmuştur. Huang ve diğerlerine [12] göre, daha az kâğıt işi için 2 seçenek vardır. Bunlardan ilki tüm aktiviteler için tek bir kâğıdın kullanılması ve bu sayede bu işlere daha az zaman harcanmasıdır. Fakat bu seçenek her ne kadar teorik olarak uygun görülse de pratik olarak işleri daha zor hale getirecektir. Bu durumda diğer seçenek olarak internet tabanlı bir program ile bahsedilen işlerin daha kolay bir şekilde yürütüleceği öngörülmüştür. İnternet tabanlı bir HTEA taslağı ekip çalışması işlemlerinin kolaylaştırmasının yanı sıra analitik verilerin güncellenmesi konusunda büyük kolaylıklar sağlamıştır. Ek olarak, bahsedilen yöntem HTEA uygulama zamanını önemli ölçüde azaltmıştır.

HTEA'yı zaman alıcı bir yöntem yapan en büyük sebep analizin çok fazla iş gücü gerektirmesidir. Bundan dolayı Bell ve diğerleri [13] HTEA'nın adımlarını basitleştiren bir araç önermektedir. Bu araç dört adımdan oluşmaktadır ve bu adımlar sırasıyla gereksinimlerin belirlenmesi, süreç veya veri seti için en uygun tekniğin seçilmesi, prototip

üretilmesi ve son olarak prototipin bir örnek çalışma ile uygulanabilirliğinin denetlenmesi şeklinde özetlenebilir. Söz konusu anılan çalışmanın başlıca amacı HTEA uygulanması esnasında geçen uygulama zamanının azaltılmasıyla HTEA'nın diğer sektör alanlarına uygulamasını kolaylaştırmaktır. Bu kolaylaştırma ile HTEA'nın uygulama alanının genişletilmesi hedeflenmiştir.

Dussault'ın [14], HTEA otomasyonu ile ilgili çalışmasına göre eğer bir yöntem anlamlı ve faydalı sonuçlar sağlıyorsa, bu yöntem standartlaştırılmalı ve otomatikleştirilmelidir. Sunulan çalışmada, HTEA'nın verimliliği ile ilgilenilmiştir. Bu doğrultuda çalışma, üç kalite ölçeği üzerine yoğunlaşmıştır. Bu ölçekler a) zaman ve maliyet, b) bütünlük ve doğruluk c) uygulama esnasındaki verimliliktir. Bahsedilen kalite ölçeklerinin yanı sıra, bu çalışmada çoklu hata türlerinden bahsedilmiştir.

Çeşitli çalışmalardan elde edilen pozitif sonuçlar, HTEA'nın farklı alanlarda kullanılmasını tetiklemiştir. Gan ve diğerleri [15] çalışmalarında dinamik tedarik zinciri yönetiminin kullanım alanını HTEA yardımıyla genişletmeyi amaçlamışlardır. Fakat geleneksel HTEA'nın uygulamadaki yetersizliklerinden dolayı bulanık yaklaşım içeren, bilgisayar entegrasyonlu ve kullanıcı işlemlerini kolaylaştıran yeni bir program önermişlerdir. Ayrıca nominal değerlerin yerine bulanık mantık ile üretilmiş sayılar vasıtasıyla risk sıralaması yapılarak daha güvenilir bir risk sıralaması elde edilmesi amaçlanmıştır.

Geleneksel HTEA'nın eksikliklerinden biri de çoklu hata türlerinin bulunması ve risklerinin değerlendirilmesidir. Palumbo'ya [16] göre HTEA'da tekli hata türleri kolay bir şekilde bulunabilir ve bu hata türlerinin riskleri yine aynı kolaylıkla değerlendirilebilir. Ancak bahsedilen işlemler çoklu hata türleri için oldukça karmaşıktır. Çoklu hata türleri için bir çok sayıda kombinasyon ve bu kombinasyonların bir yorumlama süreci olacağı için fazla miktarda zaman gerektirmektedir. Bahsedilen problemlere bir çözüm getirilmesi ve çoklu hata türlerinin daha güvenilir bir şekilde izlenebilmesi için, Güvenilirlik Model Üretici (Reliability Model Generator, RMG) ve HTEA'nın birlikte kullanıldığı bir yöntem önerilmiştir.

Genellikle, çoklu hata türlerinin sonuçları tekli hata türlerinin sonuçlarından daha etkili olabilmektedir. Bu yüzden çoklu hata türlerinin tamamının incelenmesi ve yorumlanması gerekmektedir. Ancak özellikle büyük ürünler ve karmaşık sistemler için tüm kombinasyonların bulunması, incelenmesi ve yorumlanması zaman ve verimlilik açısından pek mümkün olmayabilmektedir. Buna kombinasyon sayısının $2^n$ ile doğru orantılı olarak

üstel bir şekilde artış göstermesi neden olmaktadır. Price ve Taylor [7] sundukları çalışmada, tüm kombinasyonları incelemenin yerine sıklıkla tekrarlanan çoklu hata türlerinin incelenmesinin, zaman ve maliyet yönünden daha uygun olacağını ortaya koymuşlardır. Anılan çalışma ve alan uygulaması az sayıda hata türü içermektedir. Bu yüzden uygulanan örnekte kullanılan yöntem anlamlı sonuçlar üretmiştir. Fakat çok daha karmaşık bir sistem düşünüldüğünde bazı budama algoritmalarının geliştirilmesi daha güvenilir sonuçlar üretilmesine olanak sağlayacaktır.

Daha önceki paragraflarda da bahsedildiği üzere, HTEA hataya yatkın ve büyük sistemlere uygulamak için ciddi boyutlarda çaba gerektiren bir yöntemdir. Bu aşamada adımları kolaylaştırmak için büyük sistemler uzmanlar tarafından daha küçük sistemlere bölünebilir. Fakat bu parçalama işlemi çoklu ve ilişkili hata türlerinin tespitini oldukça zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı, Hunt ve diğerleri [6] çoklu ve ilişkili hata türlerinin daha kolay bulunması amacıyla, HTEA'yı tek bir süreç olarak tanımlayan bir program geliştirmiştir. Bahsedilen çalışma ile büyük sistemler ve karmaşık süreçlerde HTEA'nın nasıl uygulanması gerektiği konusunda öneriler verilmiştir.

Bir ürünün yapılması veya bir süreç için çeşitli aşamalar gerekmektedir. Genellikle bu aşamalar tasarım ya da geliştirme aşaması ile başlar, seri üretim ve bunu takip eden aşamalar ile sonuçlanır. Olası bir hata türünün önlenmesi her zaman için gerçekleşen hatanın onarılmasına nazaran daha az masraflı olacağı için, HTEA ilk aşamada yani tasarım aşamasında uygulanmalıdır. Ancak, sık karşılaşılan bir durum olarak HTEA'nın uygulanması için gereken zaman, tasarım aşaması için ayrılan süreyi aşmaktadır [17]. Hawkins ve Woollons çalışmasında HTEA'nın büyük sistemlere zamanı etkili kullanarak uygulanması amacıyla fonksiyonel modeller önermiştir. Bunun yanında hesaplanan ve gerçekleşen hata türlerinin analize dahil edilmesiyle sonuçların doğruluğunun artması beklenmiştir.

Bir sistem veya ürün için, HTEA ne kadar erken uygulanırsa o kadar yararlı sonuçlar alınacaktır. Fakat yöntemin uygulanmasına ilişkin ilk aşamalarda bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Örneğin HTEA için geliştirme veya tasarım aşamasında yeterli veri olmayabilir. Bu durumda tasarım aşamasındaki sistemler için minimum bilgi kullanılarak gerçekleştirilen bir yöntem Teoh ve Case [18] tarafından önerilmiştir. Önerilen yöntemde yapılacak analizin değişimlere hızlı adapte edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca genel maksatta HTEA için bilgilerin tekrar kullanımı düşünülmüş ve geçmişte elde edilen veriler sebep sonuç ilişkilerini kurmak için kullanılmıştır.

Price ve diğerleri [19], elektrikli tasarımların güvenliğini artırmak için fonksiyonel ve yapısal düşünmeyi birleştirmiştir. Bu çalışmada, HTEA sürecinin otomatikleştirilmesi amaçlanmıştır. Bahsedilen otomatikleştirme işlemi için FLAME (Functional Level Analysis of failure Mode Effects) sistemi, elektronik ve elektromekanik sistemlerin güvenlik güvencesinin önemli bir parçası olan Sneak devre analizi ve hata ağacı analizi yöntemlerinde nasıl kullanılacağı konusunda öneriler verilmiştir. Söz konusu çalışmanın en önemli çıktılarından birisi son kullanıcı için basit bir arayüzdür. Nitekim literatürdeki çalışmaların birçoğu ağır matematiksel modeller ve yöntemlerin karmaşıklığı yüzünden eleştirilmektedir.

Hughes ve diğerleri [20] sunmuş oldukları çalışmada, HTEA adımlarını kolaylaştırmak için CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) verilerini kullanarak bir yöntem geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada önerilen stratejiye göre, HTEA adımlarında doğal bir dil kullanılmalı ve gereksiz eğitim ve uğraşlardan kaçınılmalıdır. Çalışma sonucunda GENMech adını verdikleri bir yazılım programı ortaya koymuşlardır. İlave olarak CAD/CAM veri setlerinden hata türlerinin elde edilmesi üzerinde de durulmuştur.

Zaman ve diğerleri [21], yapmış oldukları çalışmada RÖS'ün yetersizliği üzerinde durmuş ve otomatik tanımlama sistemi ile bulanık HTEA'yı birlikte kullanarak, bahsedilen RÖS'ün yetersizliğini gidermeyi amaçlamıştır. Buna ek olarak Kementa ve Ishii [22], tahmin edilebilirlik metriğinin tutarsızlığı ve doğruluğu üzerinde durmuştur. Kementa ve Ishii'ye göre tahmin edilebilirlik metriği risk önceliklendirme için bir önem taşımamakta ve bu yüzden yapılan hesaplamalardan çıkarılmalıdır. Ayrıca bilinen risk metrikleri yerine maliyet tabanlı metriklerin geliştirilip kullanılması önerilmiştir. Çalışmanın bir diğer önemli noktası ise hata türleri yerine hata senaryoları üzerinden hesaplamalar yapılmasıdır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, geleneksel HTEA bazı eksikliklere ve kısıtlamalara sahiptir. Analizin hataya yatkınlığı veya analiz sürecinin uzun sürmesi anılan eksiklik ve kısıtlamalara verilebilecek başlıca örneklerdendir.

İlave olarak geleneksel HTEA'nın sadece tekli hata türlerini ele alması da yöntemin eleştirilen yönlerindedir. Yapılan çalışmalarda sıkça üzerinde durulduğu üzere çoklu ve ilişkili hata türleri tekli hata türlerine nazaran sistem veya süreçler üzerinden daha maliyetli ve onarım süreci daha uzun süren hatalara sebep olabilmektedir.

Bir başka yönüyle, geleneksel HTEA küçük sistemler ve ürünler için anlamlı ve mantıklı sonuçlar vermekteyken sistem veya ürün büyüdükçe yöntem artan taleplere cevap verememektedir.

Konuya ilişkin literatürde incelenen çalışmalar açık bir şekilde HTEA'nın kolaylaştırılması ve otomatikleştirilmesi gerektiğini göstermiştir. Yukarıda bahsedilen önemli çalışmaların yanı sıra daha fazla örnek çalışma için [5], [4], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29] ve [30]'de verilen çalışmalar da incelenebilir.

### 3.1.1. Veri Madenciliği

Gelişen teknolojik olanaklar sayesinde günlük hayatta gerçekleştirilen birçok eylemin kayıtları saklanmaktadır. Bilgisayar veri günlükleri bu alanda verilebilecek önce gelen örneklerdendir. Bilgisayarlar çalışma sürelerinde karşılaştıkları hataları ve diğer işlemlerin kayıtlarını saklar. Bu aşamada oluşan kayıtlar yararlı ve anlamlı bilgiler içermektedir. Veri madenciliği ise büyük veriler içindeki ilişkileri keşfetmeyi sağlayan araçlar bütünüdür.

Sistem ve süreçlerden elde edilen verilerin işlenmesi aşamasında elde edilen verilerin büyük boyutlara ulaşması, veri madenciliği yöntemlerinin kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Bu çerçevede veri madenciliği bilgisayarlar, medikal, bilgi teknolojileri, tahmin analizleri ve kalite kontrol gibi oldukça geniş bir alanda kullanılmaktadır

Otomotiv endüstrisi de dâhil olmak üzere birçok endüstri alanı ürün kalitesini sürekli artırmak, hata oranını azaltmak istemektedir. Buddhakulsomsiri ve diğerleri [31] yapmış oldukları çalışmada otomobillerde garanti süresinde oluşan hataların kayıtlarından yola çıkarak ürün ile ilgili hataları bulmayı amaçlamışlardır. Bu ilişkilendirme aşamasında If-Then kuralları kullanılmış ve sonuç olarak belirli bir önem seviyesini aşan hata türleri tespit edilmiştir. Anılan çalışmada büyük veri seti olan onarım verilerinden, kayda değer olarak birlikte gerçekleşen hata türleri bir veri madenciliği yöntemi olan birliktelik kuralı algoritması ile elde edilmeye çalışılmıştır.

Günümüzde yüksek teknolojiye sahip sistemler çalışma süreleri boyunca yapmış oldukları çalışmaların kayıtlarını saklamaktadır. Özellikle X-Ray cihazları gün içerisinde karşılaşmış oldukları hata ve işlemlerin tamamına yakınının kaydını saklamaktadır. Bose ve Aalst [32] önermiş oldukları yöntemde cihazlarda karşılaşılan durumları istenen ve istenmeyen durumlar olarak iki sınıfa ayırmayı hedeflemiş ve bu sayede veri dosyalarında bulunan hataların oluşturduğu şekilleri birliktelik kuralları ile tespit etmeye çalışmışlardır.

Bahsedilenlere ek olarak yapılan çalışmaların otomatik bir şekilde yürütülebilmesi için bir yöntem sunmuşlardır.

Sistemleri veya ürünleri geliştirmek için uygulanan HTEA çalışmalarında elde edilen bilgilerin tekrar kullanılması oldukça emek gerektiren bir süreçtir. Bu amaçla Renu ve diğerleri [28], çalışmalarında analiz sürecinde kullanılan bilgileri bir standarda uyarlamaya çalışmıştır. Ayrıca HTEA çalışmalarının karar aşamasında geçmiş hata verilerini analiz ederek, analizi gerçekleştiren uzmanlara yardımcı olmayı amaçlamışlardır. Bu sayede hata verilerindeki ilişki kavramı ile hatalar arasındaki ilişkiler karar ağacı algoritması ve if-then kuralları kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır.

HTEA genellikle bir sistemin tasarım aşamasında kullanılmaktadır. Bu sebep ile metodun uygulanma aşamasından önce geçerliliği sınanmamaktadır. Yang ve diğerleri [33] sunmuş oldukları yardımcı güç üniteleri üzerinden toplanan verilere ilişkin çalışmada bir sistem için planlanmış HTEA uygulamasını kullanmadan önce geçmiş hata kayıtları ile geçerliliğinin sınanmasını sağlamışlardır. Ayrıca yapılan veri tabanlı HTEA ile çok boyutlu hataların kök nedenleri araştırılmıştır. Burada geçmiş hata kayıtları için veri güdümlü tahmin modellerinden yararlanılmıştır. Yapılan çalışmanın uygulanabilirliği açısından yardımcı güç ünitesi üzerinde toplanan veriler ile örnek bir uygulama sunulmuştur.

### 3.1.2. Objektif Metrik Ağırlıklarının Belirlenmesi

Çok kriterli karmaşık problemlerin çözüm aşamasında, belirlenen kriterlerin amaç fonksiyonuna katkısı farklı olabilmektedir. Bu yüzden kriterlerin amaç fonksiyonuna katkısı oranında ağırlıklandırılması gerekmektedir. Bu aşamada objektif bir ağırlıklandırma politikası için yapılmış çalışmalarda Shannon'un entropisi [34] kullanılmıştır. Entropi bilgi kazanımına dayalı bir ağırlıklandırma yöntemi olup, HTEA için uyarlanmış çalışmalarda her bir metriğin alternatiflerden aldığı skor değerlerinin dağılımlarına göre ağırlıklar belirlemektedir.

Sachdeva ve diğerleri [35], sunmuş oldukları çalışmada Shannon'un entropisini TOPSIS yöntemi ile birleştirerek objektif bir HTEA süreci elde etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan çalışmada belirlenen altı farklı risk metriği Shannon'un entropisi kullanılarak ağırlıklandırılmış ve TOPSIS kullanılarak önceliklendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Mohsen ve Fereshteh [36] yapmış oldukları çalışmada VIKOR yöntemi ile Shannon'un entropisini geleneksel yöntemdeki risk metriklerini ağırlıklandırmak için kullanmışlardır. Burada elde edilen objektif ağırlık değerleri uzmanlardan alınan ağırlıklandırmalar ile

karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Hata türlerinin sıralanması aşamasında ise ÇKKV yöntemi olan VIKOR kullanılmıştır.

### 3.1.3. HTEA için Veri Ayrıklaştırma

En temel amacı ile veri ayrıklaştırma yöntemi, sürekli bir veriyi verilerin benzer özelliklerine göre aralıklara ayırma sürecidir. HTEA yöntemiyle elde edilen metrik değerleri de sürekli veri özelliklerini taşımaktadır. Ancak, geleneksel HTEA literatüründe metrik değerleri elde edilmeden, uzmanlar vasıtasıyla hata türlerinin skorları belirlenmektedir. Bu tez çalışmasında skorların objektif bir şekilde elde edilebilmesi için veri tabanlı elde edilen metrik değerlerinin veri ayrıklaştırma yöntemleri ile 10 aralığa bölünerek objektif bir skor politikası geliştirilmesi hedeflenmiştir. Takip eden paragraflarda veri ayrıklaştırma yöntemin nasıl ve nerelerde kullanıldığına ilişkin örneklere yer verilmiştir.

Veri madenciliği yöntemleri veri setlerinin işlenmesi için kritik bir öneme sahiptir. Genellikle, toplanan veriler sürekli veri tipindedir ve bu verilerden daha anlamlı bilgilerin elde edilmesi için, bahsedilen verilerin bir ön işleme tabi tutulması gerekmektedir. Bu ön işleme yöntemlerinden birisi de veri ayrıklaştırmadır. Veri ayrıklaştırma yöntemi sürekli verileri ayrık verilere dönüştürmekte [37] ve sürekli verideki saklı bilgileri ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Ayrıklaştırılmış veriler daha basite indirgendiği ve daha fazla anlamlı olduğu için sürekli verilere tercih edilmektedir [38].

En basit haliyle, veri ayrıklaştırma sürekli veriyi basitleştirme ve ayırma işlemi olarak tanımlanabilir. Fakat farklı çalışmalarda faklı şekilde tanımları da mevcuttur. Das ve Vyas [39] veri ayrıklaştırmayı aynı ya da yakın özelliklere sahip verileri gruplama ya da kümeleme yöntemi olarak tanımlamıştır. Riberio ve diğerleri [40] tarafından sürekli verinin aralıklara bölünmesi olarak tanımlanmıştır. Olson ve Delen [38] ise orijinal verinin özelliklerinin korunarak sürekli verinin ayrık veriye dönüştürülmesi olarak tanımlamıştır.

Tanımlardan görüleceği üzere, veri ayrıklaştırma yöntemi verinin anlaşılmasını kolaylaştırmak ve basitleştirmek için verileri küçük gruplara ayırmak olarak tanımlanabilir. Örneğin, yaş verileri olan bir sürekli veri setini genç, orta yaşlı ve yaşlı olarak aralıklara ayırmak veri ayrıklaştırma yöntemine verilecek basit ve kolay anlaşılır bir örnektir.

Veri ayrıklaştırma yönteminin en genel amacı ham veriyi daha anlamlı hale getirmektir. Frank ve Witten [41]'a göre nominal özellikler, nümerik özelliklerden daha hızlı işlendiği için veri ayrıklaştırma yöntemi sonuçlara ulaşmayı hızlandırmaktadır.

#### 3.1.3.1 Veri Ayrıklaştırma ile İlgili Çalışmalar

Veri ayrıklaştırma işlemlerinde sürekli veriler iki farklı kümeyi ayıran kesim noktaları kullanılarak ayrık hale getirilir. Kesim noktalarının belirlenmesi veri ayrıklaştırma yönteminin amaçları arasındadır. Bu amaç birçok farklı yöntem ile gerçekleştirilebilmektedir. Bazı özel veri setleri özel ayrıklaştırma yöntemleri gerektirmekteyken, belirli yöntemler bazı veri setlerini ayrıklaştırmada yüksek performans gösterebilmektedir. Bu doğrultuda veri ayrıklaştırma adımlarına başlamadan önce veri seti için uygun yöntemin seçildiğinden emin olunmalıdır.

Kotsiantis ve Kanellopoulos [42]'e göre veri ayrıklaştırma işleminin iki amacı olmalıdır. İlki; daha küçük veri kümeleri için kesme noktalarının belirlenmesi, ikincisi ise; önemli oranda bilgi kaybı olmadan belirlenecek aralık sayısının minimize edilmesidir. Amaçlara ek olarak, her bir ayrıklaştırma yöntemi iki görevi yerine getirmelidir. İlk olarak, ayrıklaştırma yöntemi optimum ayrık aralık sayısını belirlemelidir. Fakat bu görevi yerine getiren az sayıda yöntem bulunmaktadır. Yöntemlerin sayıca büyük bir çoğunluğu aralık sayısını kullanıcıdan istemektedir. İkinci olarak, yöntemler aralıkların uygun genişliklerini belirlemelidir.

Konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, veri ayrıklaştırma yöntemlerinin verimliliğini artırmak için birçok yeni yöntemlin geliştirildiği gözlenmiştir. Ribeiro ve diğerleri [40], veri analizinde harcanan zamanın azaltılmasına yönelik, veri ayrıklaştırma yöntemlerine özellik seçme görevlerini entegre etmiştir. Kimi durumlarda veri setleri karmaşık yapılarda olabilmekte ve bahsedilen durum kullanıcının optimum aralık sayısını belirlemesini güçleştirmektedir. Söz konusu çalışmada Omega yöntemi kullanılarak daha az hata oranı ile son aralık sayısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Veri ayrıklaştırma yöntemlerini geliştirmek için önerilen bir diğer yöntem ise BAGOFP_CLASS yöntemidir [43]. Bu yöntem, bulanık kümeleme ile genetik algoritma birleştirilerek kaliteli ayrıklaştırma ve sınıflandırma sağlanması amacıyla geliştirilmiştir. Yöntem, temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak kesim noktaları bulanık karar ağacı ile elde edilir. Ardından, bulanık kümelerin elde edilmesi için çevresel etkenlere duyarsız ve oldukça güçlü bir araç olan genetik algoritma kullanılır. Bu yönüyle, geliştirilen yöntem sınıflandırma başarısı yönünden daha kaliteli sonuçlar elde etmektedir.

Literatürde incelenen çalışmaların birçoğu küçük veri setleri için hızlı ve güvenilir sonuçlar elde etmektedir. Fakat büyük veri setleri incelenecek olursa daha güçlü ve etkili yöntemler

gerekmektedir. Sang ve diğerleri [44], önerdikleri yöntem ile büyük boyutlu veri setlerini düzenlemeyi amaçlamaktadır. Önerilen yöntemde, büyük boyutlu veriyi orijinal verinin özelliklerini koruyarak düşük boyutlu uzayda haritalandırmak için yeni bir denetimli boyut azaltma algoritması sunulmuştur. Bahsedilenlere ek olarak, anılan çalışmada gözetim tabanlı bir veri ayrıklaştırma yöntemi olan Chi-Square yönteminin tüm sürekli verileri ayrıklaştırabilmesine yönelik yöntem önerilmiştir.

Genellikle, veri ayrıklaştırma işlemlerinde büyük veri setlerinin ayrıklaştırılması zaman tüketici bir işlem olarak görülmektedir. Çünkü ayrıklaştırılacak veri birçok kez okunmakta ve işlenmektedir. Borowik ve diğerleri [45], büyük veriyi ayrıklaştırma sürecinde geçirilen zamanı azaltmak için iki adımlı bir yöntem geliştirmiştir. İlk olarak aday kesim noktaları sıralanır. İkinci olarak aday kesim noktalarından gereksiz olanları silinerek ayrıklaştırma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Söz konusu yöntemde büyük veri seti küçük veri setlerine dönüştürülerek işlenmektedir. Böylece, işlem zamanı ve gereken hafıza miktarı azaltılarak işlem gerçekleştirilmiş olur.

#### 3.1.3.2 Veri Ayrıklaştırma Yöntemleri için Sınıflandırma

Veri ayrıklaştırma yöntemleri birçok yönden sınıflandırılabilir. Örneğin, ayrıklaştırmanın parametrik olup olmayışı, ayrıklaştırma sürecinde sınıf bilgisinin kullanılıp kullanılmadığı gibi özellikler veri ayrıklaştırma yöntemlerinin sınıflandırılmasında kullanılan kriterlerdendir. Literatürdeki çalışmalarda temel sınıflandırmalar aşağıda sıralanmaktadır[46].

*Statik/Dinamik,* bu özellik öğrenme metotları ile ayrıklaştırma yöntemi arasındaki bağımsızlık seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Statik veri ayrıklaştırma sınıflama işleminden önce yapılır ve otonomdur. Fakat dinamik veri ayrıklaştırma sınıflandırma işlemi esnasında yapılır. ID3 (Iterative Dichotomiser 3) ve ITFP (Information Theoretic Fuzzy Partitioning) dinamik ayrıklaştırma için verilebilecek örneklerdendir.

*Denetimli/denetimsiz,* bu özellik ayrıklaştırma yönteminin sınıf bilgilerini kullanıp kullanmadığına göre değişiklik göstermektedir. Denetimli ayrıklaştırma yöntemleri hata veya entropi gibi sınıf bilgilerini kullanarak ayrıklaştırma yapar. Denetimli ayrıklaştırma yöntemleri değişkenler ile en iyi kesim noktaları arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurur. Entropi tabanlı ayrıklaştırma yöntemleri buna örnek olarak verilebilir. Buna karşılık, ayrıklaştırma işlemlerinde sınıf bilgileri mevcut olmadığı durumlarda denetimsiz

ayrıklaştırma yöntemlerinin kullanımı daha uygun olmaktadır. Eşit aralıklı ve eşit frekanslı ayrıklaştırma yöntemleri örnek olarak verilebilir.

*Tek değişkenli/Çok değişkenli*, bu özellik ayrıklaştırma işleminde kullanılan kriter sayısına bağlı olarak değişmektedir. Çok değişkenli ayrıklaştırma yöntemlerinde kesme noktaları belirlenirken tüm kriterler değerlendirilir ve kriterler arasındaki etkileşime bakılır. Tek değişkenli yöntemlerde ise tek bir kriter olduğu için sadece bu kritere göre ayrıklaştırma yapılır.

*Bölme/Birleştirme*, bu özellik ayrıklaştırma yöntemin izlediği yola göre değişiklik göstermektedir. Bölme tabanlı yöntemlerde veri seti bölme yöntemi ile ayrıklaştırılır. Bölme yöntemlerinde ayrıklaştırma işlemine boş olmayan bir aralık ile başlanır ve her adımdan sonra aralık sayısı artar ya da sabit kalırken aralıkların eleman sayısı sabit kalır ya da azalır. Buna karşın birleştirme tabanlı yöntemlerde küçük aralıklar ile başlanır, örneğin her bir veri ayrı bir aralık olabilir. Her adım sonrasında aralık sayısı azalır ya da sabit kalırken aralıkların eleman sayıları artar ya da sabit kalır. Sırasıyla bu yöntemler yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarıya tabanlı yöntemler ile aynı adımları izlemektedir.

*Parametrik/Parametrik olmayan,* parametrik tabanlı yöntemler en fazla aralık sayısı gibi bazı parametrelere ihtiyaç duymaktadır. Parametrik olmayan yöntemlerde ise yöntemler her şeye kendi bünyesinde sahip olduğu karar mekanizmaları ile karar verir.

*Hiyerarşik/Hiyerarşik olmayan*, hiyerarşik yöntemler kesim noktalarını belirlerken artan bir yapı izlemektedir. Aksine hiyerarşik olmayan yöntemlerde ise kesim noktaları belirlerken farklı yapılar da seçilebilmektedir.

*Bulanık/Bulanık olmayan*, bulanık tabanlı ayrıklaştırma yöntemleri veriyi aralıklara böldükten sonra her bir veri için bir üyelik fonksiyonu hesaplar. Hesaplanan üyelik fonksiyonu değerine göre verinin atandığı aralığı sahiplik derecesi belirlenmektedir. Yani bu durumda bazı veriler birden fazla aralığa ait olabilir. Ayrıklaştırma işlemi sonucunda ise her bir veri bir aralığa ait olmaktadır. Bulanık olmayan tabanlı yöntemlerde ise kesin kesim noktaları vardır ve veriler bu kesim noktalarına göre atanmaktadır.

Önceki paragraflarda çeşitli veri ayrıklaştırma sınıfları verilmiştir. Buradan da görüleceği üzere farklı ihtiyaçları karşılamak üzere birçok ayrıklaştırma yöntemi geliştirilmiştir. Bahsedilen sınıflar ve yöntemler literatürde yer alan çalışmalarda sıklıkla görülen yöntemlerdir. Diğer yöntemler için [42], [46], [47], [48], [49] ve [50] çalışmalara da bakılabilir.

### 3.1.3.3 Sıklıkla Kullanılan Veri Ayrıklaştırma Yöntemleri

*Eşit Aralıklı Ayrıklaştırma (EAA)*, en kolay veri ayrıklaştırma yöntemleri arasında olup, denetimsiz ayrıklaştırma yöntemlerine verilebilecek başlıca örneklerdendir. Bu yöntem ayrıklaştırma sürecinde sınıf bilgilerini kullanmamaktadır. Bu yöntem için adımlar aşağıdaki şekildedir:

İlk olarak verinin kaç aralığa (*k*) ayrılacağına karar verilir. Ardından en büyük veri ile en küçük veri arasındaki fark ($v_{max} - v_{min}$) alınıp istenilen aralık sayısına bölünür. Bu sayede aralıkların boyutları (*w*) hesaplanmış olur. Bu işlemleri özetleyen denklem aşağıdaki gibidir.

$$width(w) = \frac{vmax - vmin}{k}$$

Ardından her bir aralığın sınırları $v_{min}+w$, $v_{min}+2w$, ...., $v_{min}+(k-1)w$ denklemleriyle elde edilir. Son olarak veriler uygun aralıklara atanarak ayrıklaştırma tamamlanır.

*Eşit Frekanslı Ayrıklaştırma (EFA)*, bir diğer denetimsiz ayrıklaştırma yöntemidir. EAA yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Fakat burada aralıkların boyutları yerine aralıklardaki eleman sayıları eşittir. Bu yöntem için belirli bir kesim noktası yoktur. EFA yönteminde öncelikle aralık sayısı (*k*) belirlenir. Ardından toplam veri sayısı belirlenen aralık sayısına bölünerek, her bir aralığın eleman sayısı bulunur. Son olarak veriler sıralanır ve her bir aralığın eleman sayısı dikkate alınarak ayrıklaştırma süreci tamamlanır.

*ChiMerge*, hiyerarşik, denetimli ve aşağıdan yukarıya bir ayrıklaştırma yöntemidir. Kerber [51], tarafından geliştirilen yöntemde sınıf bilgileri kullanılmaktadır. EAA ve EFA yöntemleri ile karşılaştırılacak olunursa veri setini bölmek yerine verileri birleştirerek devam eden yöntem ile ayrıklaştırma sürecini gerçekleştirir. Bu yöntem için geçerli temel kavram eğer iki komşu aralık benzer özelliklere sahip ise bu aralıklar birleştirilmeli aksi taktirde ayrı kalmalıdır [50].

Yöntem, her bir veriyi ayrı bir aralık olarak görerek başlar. Aralıkların birleştirilme işlemi $\chi^2$ değeri, eşik değerini geçene ya da durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder. Burada durdurma kriteri hedeflenmiş bir aralık sayısı olabilir. $\chi^2$ değerinin hesaplanması için gerekli denklemler ve değişkenlere ilişkin bilgiler aşağıda gösterilmektedir.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{k}\frac{(A_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

m = 2 (karşılaştırılacak aralık sayısı),

k = aralık sayısı,

$A_{ij}$ = i. aralıkta, j. sınıftaki veri sayısı,

$R_i$ = i. aralıktaki veri sayısı,

$C_j$ = j. sınıftaki veri sayısı,

N = toplam veri sayısı,

$E_{ij} = A_{ij} = \frac{R_i}{C_j}$ değerinin beklenen frekansı.

*StatDisc ayrıklaştırma*, hiyerarşik, denetimli ve aşağıdan yukarıya bir yöntemdir. ChiMerge yönteminin genişletilmiş bir halidir [52]. İki yöntem de istatiksel ölçümlere dayanmaktadır. ChiMerge yöntemi iki aralığı karşılaştırabilirken, StatDisc yöntemi ikiden fazla aralığı birleştirmek için karşılaştırabilir.

*InfoMerge ayrıklaştırma*, aşağıdan yukarıya ve denetimli bir ayrıklaştırma yöntemidir. Bu yöntemde sınıf yoğunluk dağılımı karar istatistiği olarak kullanılmaktadır [53]. İki adımdan oluşan bir yöntemdir. İlk adımda veriler sıralanır ve her bir veri için sınıf yoğunluk dağılımı hesaplanır. Ardından aralıklar birleştiğinde oluşacak zarar değerleri hesaplanır ve en küçük zarar değerine sahip aralıklar birleştirilerek ayrıklaştırma tamamlanmış olur.

*ID3 ayrıklaştırma*, yerel, denetimli ve dinamik bir ayrıklaştırma yöntemidir [54]. Veriler bir karar ağacı yardımıyla ayrıklaştırılır. Veri seti en küçük entropi değerine sahip kesim noktaları ile ayrıklaştırılır [39]. Ayırma işlemi durdurma kriteri sağlanana değin devam eder. Eğer bir veri aynı anda ağacın farklı dallarında görülebiliyorsa veri seti farklı bir şekilde ayrıklaştırılmalıdır

*Fayyad-Irani ayrıklaştırma*, bir diğer entropi tabanlı ayrıklaştırma yöntemidir [55]. Denetimli, hiyerarşik ve yukardan aşağı bir yöntemdir. Bu ayrıklaştırma yönteminde Minimum Description Length (MDL) ya da optimal aralık sayısına ulaşılmasıyla ayrıklaştırma işlemi tamamlanır. Verilerin hangi aralığa atanacağını belirlemek için sınıf bilgi entropisini kullanır.

## 3.2. HTEA ve Gri İlişkisel Analizi

Gri Sistem Teorisi (GST), küçük örneklem ve eksik bilgi içeren problemlerin çözümünde kullanılmak üzere önerilmiş bir metodolojidir [56]. 2006 yılına kadar yapılan çalışmalara bakıldığında tamamına yakını Çince çalışmalardan oluşmaktadır. 2006 yılı sonrası uluslararası çalışmalarda teoriden daha fazla bahsedilmeye başlanmıştır.

Gri sistem teorisi belirsizliği sayısallaştırmada kullanılan alternatif bir yöntemdir. GST'nin ortaya çıkışında temel düşünce stokastik ve bulanık sistemlerde üstesinden gelinemeyen belirsizliklerin davranışlarını sınırlı sayıda veri ile tahmin etmektedir. Sistemdeki bilgi eksikliği ya da belirsizlik durumu GST'de grilik kavramı ile açıklanmakta ve aşağıda sıralanan 4 vakadan en az birinin gerçekleştiği durumlarda ortaya çıkmaktadır.

- Parametreler hakkında bilgi eksikliği
- Sistemin yapısı hakkında bilgi eksikliği
- Sistemin sınırları hakkında bilgi eksikliği
- Sistemin davranışı hakkında bilgi eksikliği [57]

Eğer bir sistemde her şey biliniyorsa sistem beyaz kavramı ile açıklanabilir. Sistemde belirsizlik maksimum düzeyde ise siyah kavramı sistemi tanımlayabilir. Bahsedilen iki durum da geçerli değilse, yani her şey ne tamamen biliniyor ne de bilinmiyorsa, kısmi bilgi söz konusu ise bu tarz sistemler grilik kavramı ile açıklanabilir.

Gri İlişkisel Analizi (GİA), gri sistem teorisi kullanılarak geliştirilmiş, gri ilişkisel derece temeline dayalı bir derecelendirme, sınıflama ve karar verme tekniğidir. GİA özellikle örneklemin küçük olduğu ve örneklem dağılımı bilinmediği durumlarda değişkenleri gruplandırmada tercih edilir. GST'de gözlem verilerine dayanarak sistemde yer alan faktörler arasındaki matematiksel ilişkinin ifade edilmesi amaçlanmaktadır. GİA faktörler arası karmaşık ilişkilerin bulunduğu karar problemlerine uygulanabilen bir çözüm yöntemidir. GİA'nın avantajları şöyle sıralanabilir,

- Küçük veri setinin yeterli olması,
- Hesaplama işlemlerinin basit olması,
- Spesifik paket program gereksinimi olmaması,
- Veri kümesinin kısıtlı ve az sayıda olması,
- Değişkenlerin kesikli ve sürekli rasgele değişkenlerden oluşması,
- Herhangi bir olasılık dağılımına sahip olma şartı aranmaksızın belirsiz durumlara uygulanabilir olması,
- Fonksiyonel bir dizi işlemlerin yerine basit işlemler ile sürdürülmesi,
- Belirli ve net hesaplama adımlarıyla birlikte veriler arasındaki birebir ilişki derecesini sayısal olarak analiz edebiliyor olması,
- Varsayımlarının olmamasıyla birlikte kolay, pratik ve kullanışlı olması.

Gri İlişkisel Derece (GİD) referans seri ile karşılaştırılacak faktör serilerinin arasındaki geometrik benzerlik dikkate alınarak hesaplanmaktadır. GİA gri sistemlerde kullanıldığı kadar bazı çok kriterli karar verme problemlerinde alternatifler arasında sıralama yapmak için de kullanılabilir. GİA ve HTEA'nin birlikte kullanıldığı, çeşitli çalışmalar devam eden kısımda verilmiştir.

HTEA'daki en önemli iki problem, takımdaki üyelerin arasında oluşan fikir ayrılıkları ve risk sıralaması yapılırken kullanılan risk önceliklendirme metodudur. Yapılan çalışmada HTEA'nin multidisipliner yapısından dolayı kaynaklanan fikir ayrılıklarına çözüm bulmak için Gerçeklere Dayanan Bulanık Mantık (Fuzzy Evidential Reasoning, FER) yaklaşımı önerilmiştir. Risk sıralaması yapılırken farklı kombinasyonların aynı risk öncelik sayısını vermesi, tüm kriterlerin aynı önemde olduğu varsayımı gibi problemleri gidermek için de risk öncelik sayılarını elde ederken çarpım işlemi yerine GİA önerilmiştir. Sistemde tespit edilen 7 hata türü sözel şekilde elde edilmiş ve elde edilen hata türlerinin GİA ile sıralamak için bulanık mantıkta üretilmiş değerler nitel verilere dönüştürülmüştür. Bu çalışmada, GİA'nın kullanılma sebebi yöntemin oldukça basit bir kullanıma sahip olması, herhangi bir fayda fonksiyonu gerektirmemesi ve hızlı çalışmasıdır [9].

Geleneksel HTEA'da risk öncelik sayılarının çarpılmasıyla elde edilmektedir. Buna ek olarak elde edilen kriterlerin bazıları doğrusal, bazıları doğrusal değildir. İki farklı doğrusallığa sahip kriterin çarpılması sorgulanmalıdır. Bu durumda, yapılan çalışmada daha doğru bir sıralama yapmak için GİA önerilmiştir [58]. Gri ilişkisel analizi kullanılarak sıralama esnasında kullanılan kriterlere ağırlıklar verilmiştir. Yapılan risk önceliklendirme işlemi daha doğru ve herhangi bir sapmış fayda fonksiyonu kullanılmadan yapılmıştır. Gri HTEA yöntemi ile doğrusallığı farklı kriterlerin çarpılması problemi de ortadan kaldırılmıştır.

Geleneksel HTEA metodunda kriterlerin hesaplanması sürecinde kullanılan sözel verilerin sayısal verilere çevrilmesi aşamasında bazı kayıplar olmaktadır [59]. Bahse konu çalışmada GİA, kriterlere çeşitli ağırlıklar vermek için ve kriterlerin arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için kullanılmıştır. Ayrıca, sözel verilerin sayısal verilere dönüşüm işleminde kaybolan veriyi engellemek için bulanık mantık kullanılmıştır. HTEA'nın uygulanabilirliğini arttırabilmek için bu iki metot birleştirilerek HTEA üzerine uygulanmıştır.

## 3.3. HTEA ve TOPSIS

Metodun ismi, **T**echnique for **O**rder **P**reference by **S**imilarity to **I**deal **S**olution olan orijinal adının baş harflerinden meydana gelmektedir. İlk defa Hwang ve Yoon [60] tarafından çok kriterli karar verme yöntemi olarak geliştirilmiştir. TOPSIS metodu en uygun alternatifi seçerken ideal çözüme en yakın uzaklığı ve aynı zamanda negatif ideal çözüme en uzak noktayı da değerlendirmektedir. Bu iki uzaklığı birleştirerek, kullanıcı için en uygun alternatiften en kötü alternatife doğru bir sıralama yapmaktadır. HTEA ve TOPSIS metotlarının birlikte kullanıldığı literatür örnekleri devam eden paragraflarda incelenebilir.

Liu ve diğerlerinin [61] yapmış oldukları çalışmada HTEA ve TOPSIS metotları birlikte kullanılmıştır. Çalışmada geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen HTEA'nın risk sıralama yönteminin yetersiz ve kullanışsız olması nedeniyle sıralama işlemi için TOPSIS metodu kullanılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada bir sezgisel bulanık hibrit yöntem de kullanılmıştır. Bu sayede metriklerin sayısal değerler alma zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır. Bahsedilenlere ek olarak, metriklere hem sübjektif hem de objektif ağırlık değerleri verilmiştir. Sübjektif olan değerler uzmanlar tarafından sağlanmıştır. Objektif ağırlık değerleri ise sıralı ağırlıklı ortalama (Ordered Weighted Averaging, OWA) ile elde edilmiştir. Bu sayede, iki farklı ağırlığın sonuçlar üzerine etkisi tartışılmıştır.

Bulanık mantık, TOPSIS ve HTEA metotlarının birlikte kullanıldığı bir diğer çalışma Braglia ve diğerleri [62] tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilen HTEA'nın risk sıralaması adımlarının yetersizliği üzerinde durulmuştur. Bu çalışmanın temel katkısı bulanık mantığın kullanılması ile kural matrislerine olan gereksinimin ortadan kalkmasıdır. Ayrıca bulanık mantık ilk defa metriklerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. TOPSIS ve bulanık mantık yöntemlerinin birlikte kullanılması ile büyük sayılardaki risk kriterlerinin değerlendirilmesine imkan tanınmış, risk metriklerinin farklı ağırlıklar alması ile uzmanlardan alınan ve kesin değerler içermeyen, verilerin daha doğru ve kolay bir şekilde işlenmesiyle sürecin kolaylaştırılması sağlanmıştır. Çalışma sonunda risk sıralaması TOPSIS metodu ile yapılmıştır.

Geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen HTEA'nın en çok eleştiri aldığı noktalar hata türlerinin sıralaması, metriklerin ağırlıklandırılması ve üç metrik türünün analiz için yeterli olmadığının düşünülmesi olmuştur. Bahsedilen eksikliklerin giderilmesi için, Sachdeva ve diğerleri [63] geliştirdikleri yöntemde hata türlerinin objektif ve tutarlı bir şekilde sıralanması için TOPSIS metodunu önermişlerdir. Bir diğer eksiklik olan metriklerin

ağırlıklandırılması aşamasında Shannon'un entropi kavramını kullanmışlardır. Bunlara ek olarak geleneksel yöntemlerde hata türlerinin sıralanması için kullanılan şiddet, frekans ve tahmin edilebilirlik risk metriklerine ek olarak yedek parçaların bulunabilirliği veya ekonomik maliyetler gibi risk metrikleri eklemişlerdir. Bu metriklerin bir kısmını geçmiş veri setlerinden objektif bir şekilde elde etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda kullanılan yöntemler ile sürecin basitleştiği görülmüş ve yeni bir metrik sisteme dâhil edilecek olursa bu işlemin geleneksel yöntemlerdekinin aksine kolaylıkla sisteme entegre edileceğinden bahsedilmiştir.

Song ve diğerlerinin [64] yapmış oldukları çalışma, Sachdeva ve diğerlerinin [63] yapmış oldukları çalışma ile bazı yönlerde benzerlikler göstermektedir. Yapılan çalışmaların her ikisinde de Shannon'un entropi kavramı ve TOPSIS kullanılmıştır. Ancak, Song ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada bunun aksine sübjektif ve objektif ağırlıklandırmalar birlikte kullanılarak daha gerçekçi ağırlıklandırmalar elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç daha önceki literatür çalışmalarında ele alınmamış ve bu yönüyle anılan çalışma literatüre katkı sağlamıştır. Ayrıca metriklerin risk değerlendirmeleri sırasında sözel değerlendirmelerin kullanılması ile daha gerçekçi sıralama amaçlanmıştır. Bahsedilen katkılara ilave olarak, kullanılan 3 risk metriğinin yanı sıra başka risk metriklerinin de hesaplamaya dâhil edilebileceğinden bahsedilmiştir.

HTEA ve TOPSIS birçok problemin çözümü için birlikte kullanılmışlardır. Helvacıoğlu ve Özen [65] yapmış oldukları çalışmada bahsedilen iki metodu yat sistemi tasarımındaki ortaya çıkan hata türlerini önceliklendirmek için birlikte kullanmıştır. Çalışmada numerik değerler yerine sözel değerler tercih edilmiştir. Sunulan çalışmada süreçte meydana gelen hata türleri risk değeri en yüksek olandan en düşük olana doğru sıralanır. Geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilen metottaki bazı engellerin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.

## 3.4. HTEA ve VIKOR

VIKOR çok kriterli karar verme problemleri için geliştirilmiş alternatif bir yöntemdir [66]. Yöntemin ismi Macarca isminin (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) baş harflerinden meydana gelmektedir. Yöntem uzlaşık sıralama listesine ve uzlaşık çözüme karar verir. Buradaki uzlaşık kavramı, bir alternatif üzerinde ortak bir karara varıldığını ifade etmektedir. VIKOR yöntemi de ideal çözüme yakınlık ölçümüne dayanır. VIKOR

metodunun uygulandığı HTEA uygulamaları takip eden paragraflarda ayrıntılarıyla verilmiştir.

Geleneksel HTEA'nın en çok eleştirildiği noktalardan birisi RÖS'ün hesaplanması aşamasında kullanılan matematiksel modeldir. Bu amaçla Liu ve diğerleri [67] tarafından HTEA'da risk önceliklendirme için VIKOR metodu önerilmiştir. Önerilen metotta hata türlerine skor verme aşamasında kesin değerler verilmesi yerine bulanık değerler verilmesi tercih edilmiştir. Önerilen metot hastanelerde gerçekleşen hataların azaltılması için uygulanmıştır. Uygulama sonrasında karar vericinin nihai karara ulaşması kolaylaştırılmıştır.

Bir diğer çalışmada, Emovon ve diğerleri [68] deniz ile ilgili makine sistemlerindeki hataları azaltmak için Compromise Programming ve HTEA'yı karşılaştırarak kullanmıştır. Yapılan çalışmada sıralama işlemleri her iki metot ile de yapılmıştır. Metriklere daha objektif ağırlıklar vermek için istatiksel varyans ve entropi tabanlı ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmıştır. Anılan metotlar kullanılarak elde edilen sonuçlara bakıldığında, sonuçlar arasında anlamlı bir farkın bulunmadığı gözlenmiş ve her iki metodun da deniz makine sistemleri için uygulanan HTEA'da kullanılabileceği görülmüştür.

Son yıllarda iş sektöründe birçok yeni riskler meydana çıkmıştır. Bu yüzden kuruluşlar bu riskleri önceden tahmin etmeli ve mümkün olduğunca korunma yollarını bulmalıdır. Bu amaçla Safari ve diğerleri [69] tarafından iş sektörü mimarisindeki riskleri tahmin etmek azaltmak ve önlemek için HTEA ve bulanık VIKOR yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir yöntem önerilmiştir.

# 4. METODOLOJİ

## 4.1. Bilgisayar Sunucu Bağlantı Kopuklukları için Veri Tabanlı HTEA Metrikleri

Bu tez çalışmasının amaçlarından biri de metrik değerlerinin otomatik olarak verilerden elde edilmesidir. Geleneksel yöntemler ile yapılan HTEA'da, bir hata türü için üç farklı metrik kullanılmaktadır. Ancak bu üç metrik (hatanın şiddeti, frekansı ve önceden tahmin edilebilirliği) bazı durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Dolayısıyla geleneksel yöntemlerde kullanılan metriklerin yerine veriden otomatik olarak elde edilebilecek ve bilgisayar sunucu bağlantı kopukluklarına özel metrikler bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir. Bu metriklerin ve sürecin objektif olmasına özellikle dikkat edilmiştir.

Sunucu bağlantı kopukluklarında zaman başta gelen kalite ölçeklerinden biridir. Zaman maliyeti olan bir kavramdır. Bu yüzden hata türünün meydana gelmesi durumunda, hatanın sebep olduğu kayıp zaman önemli bir risk metriği olarak ele alınabilir. Bahsedilen kayıp zamanı bir metrik olarak değerlendirebilmek için verilerin elde edildiği süre zarfı boyunca gerçekleşen hataların devam etme sürelerinin ortalaması (HDESO) değerlendirmeye alınabilir. HDESO'ya ilave olarak hataların arasında zamanın ortalaması (HAZO) da bir risk metriği olarak değerlendirilebilir. Burada sorgulanan bir birimin ne kadar süre boyunca hata vermediği araştırılmaktadır. Bu iki metrik de objektif olarak değerlendirilebilecek özelliktedir.

Hataların birbirlerini tetiklemeleri de önem arz edebilecek bir risktir. Bir hata türü bir başka hata türünün tetikleyicisi ya da bir hata birçok hatanın sonucunda meydana gelmiş olabilir. Bu durumda hataya sebep olan kök sebebin bulunup giderilmesiyle diğer hataların da ortadan kaldırılması veya etkilerinin azaltılması söz konudur. Bu amaçla hataların birliktelik analizi (HB) bir arada gözlemlenen hataların belirlenmesi için kullanılabilecektir.

Geleneksel yöntemde bahsedilen bir hatanın gerçekleşmeden tahmin edilmesi de önem arz eden metrikler arasındadır. Ancak, bu metriğin objektif bir şekilde elde edilmesi oldukça zor bir süreçtir. Nitekim geleneksel yöntemde uzmanlar tarafından değerlendirilen metrik çok güvenilir sonuçlar üretmeyebilmektedir. Bu tez çalışmasında hatalar arasındaki zamanın standart sapması (HAZSS) bir risk değerlendirmesi olarak ele alınmıştır.

Son olarak geleneksel yöntemlerde kullanılan hata türlerinin frekansı (F) da objektif bir metrik olarak değerlendirilebilecektir. Yalnız burada önemli nokta frekansın nasıl değerlendirildiğidir. Bu durumda objektif bir risk metriği elde etmek için veri önişleme

metotlarından veri ayrıklaştırma kullanılabilir. Bu çalışmada bu yöntemle elde edilmiş bir metriğe de yer verilmiştir.

Metriklerin belirlenmesinden sonraki süreçte ise her bir hata türü için metriklerin alacağı değerlerin veri setinden otomatik olarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanacak olan bir bilgisayar sunucu bağlantı kopuklukları örnek alınarak yukarıda bahsedilen metriklerin olasılık dağılımlarına bakılmıştır. Metrik dağılımlarının standart olasılık dağılımlarının birine tam bir uyum göstermediği belirlenmiştir. Metriklerin korelasyon analizi sonucunda elde edilen beş metrik türünden üçünün bir biri ile ilişkili olduğu belirlenmiş ve korelasyonlu olan bu metriklerden sadece bir tanesinin kullanılmasının yeterli olacağı benzer bilgi verdikleri dolayısıyla kararlaştırılmıştır.

Veri seti kullanılarak metrikler hesaplandığında bazı uç değerlerin olduğu da gözlenmiştir. Bu yüzden anılan uç değerler ayrı olarak değerlendirilmek üzere veri setinden çıkarılmıştır. Sonuç olarak bilgisayar sunucu bağlantı kopuklukları ele alınarak üç risk metriği ve 260 hata türü ile RÖS hesaplanacaktır.

### 4.1.1. Objektif Ağırlıklandırma için Entropi Yöntemi

RÖS değerlerinin hesaplanması öncesinde objektif bir ağırlıklandırma politikası için Shannon'un entropi yöntemi kullanılmıştır. Yöntem aşağıda belirlenen sıra ile uygulanmaktadır.

*Adım 1 – Karar matrisinin oluşturulması*

Bu adımda satırları hata türlerinden sütunları metriklerden oluşan bir karar matrisi oluşturulur. Burada hata türlerinin metriklerden aldığı değerler matrisin değerlerini oluşturur.

*Adım 2 – Karar matrisinin normalize edilmesi*

Karar matrisinin oluşturulmasının ardından matris aşağıdaki denklem sayesinde normalize edilir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}}$$

Burada $x_{ij}$ hata türlerinin değerlerini, $r_{ij}$ ise bu değerlerin normalize edilmiş değerlerini göstermektedir. $m$ ise hata türü sayısını göstermektedir.

*Adım 3 – Objektif ağırlık değerlerinin hesaplanması*

Ağırlıkların elde edilmesi için öncelikle entropi değerleri hesaplanmaktadır.

a) Entropi değerlerinin hesaplanması

$$e_j = -\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^{m} r_{ij} \ln r_{ij}$$

Burada $-\frac{1}{\ln m}$ sabit bir değerdir. Toplam hata türü sayısı ile ters orantılı olarak değişmektedir. $e_j$ ise 0 ile 1 arasındaki entropi değerini göstermektedir.

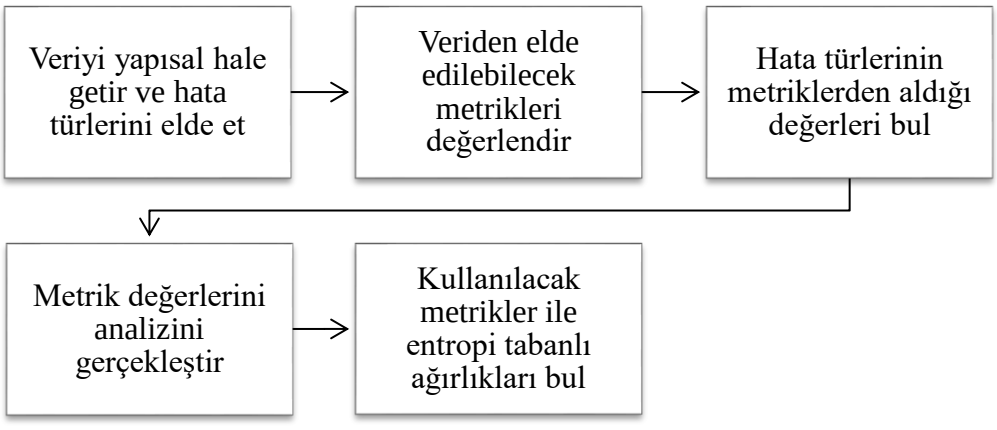
b) Ağırlıkların hesaplanması

Objektif ağırlıklar, elde edilen entropi değerleri ile aşağıda verilen denklem sayesinde elde edilir.

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^{n}(1 - e_j)}$$

Burada entropi değerleri 1'den çıkarılarak ve farkların toplamına bölünerek her bir metrik değerinin ağırlığını veren $w_j$ değerleri elde edilir.

Önceki kısımlarda bahsedilen adımlar Şekil 2'deki akış diyagramında özetlenmiştir. Sunucu bağlantı kopuklukları sırasında meydana gelen hata türlerinin önceliklendirilmesi için öncelikle yapısal olmayan veri seti sıralama için kullanılacak verilerin edilmesi ile yapısal hale getirilmiştir. Ardından yapısal veriden hata türleri elde edilmiştir. Ardından bahsedilen hata türlerini değerlendirmek için veriden elde edilebilecek metrikler değerlendirilmiştir. Takip eden kısımda hata türlerinin metriklerden alacağı değerler bulunmuştur. Daha sonra metriklerin arasındaki korelasyon ve metrik değerlerinin uç değer analizleri yapılmıştır. Son olarak objektif bir skor politikası için entropi yöntemi ile metriklerin ağrılık değerleri hesaplanmıştır.




**Şekil 2. Önişlemler Akış Diyagramı**

Bu tez çalışmasının devamında geleneksel HTEA tabanlı alternatif bir yöntem sunulmuş ve literatürde bilinen 3 farklı ÇKKV yöntemi ile RÖS değerleri hesaplanmıştır. Hata türlerinin RÖS değerleri hesaplanırken, üç metrik dikkate alınarak bir hesaplama yapılmaktadır. Bu yönü ile düşünüldüğünde RÖS değerlerinin hesaplanması bir ÇKKV sürecidir. ÇKKV yöntemleri terminolojisinde alternatif ve kriter kavramlarından bahsedilmektedir. İlerleyen bölümlerde hata türleri alternatif, metrik türleri ise kriter kavramları yerine kullanılacaktır. Takip eden bölümlerde farklı risk önceliklendirme yöntemleri ile RÖS değerleri elde edilme adımları açıklanacaktır.

## 4.2. Geleneksel HTEA Tabanlı Alternatif Yöntem

Literatürde geleneksel HTEA'ya yöneltilen eleştiriler özelikle RÖS'ün elde edilme yöntemi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu eleştiriler Bölüm 2.3'te detaylı olarak anlatılmıştır. Bu tez çalışmasında, bahsedilen eleştiriler dikkate alınarak yeni bir alternatif yöntem geliştirilmiştir.

Alternatif yöntemde veri önişleme aşamalarından sonra elde edilen üç metrik için veri ayrıklaştırma metodu kullanılmıştır. Metriklerin çok farklı ölçeklerde olması dolayısıyla sıralama yapılabilmesi için metrik değerlerinin normalizasyonu gerekmektedir. Bu durumda veri ayrıklaştırma için iki yöntem söz konusudur. Bu yöntemlerden ilki veri ayrıklaştırma için gereken veri setlerinde birden fazla değişkene ihtiyaç duyulan gözetimli ayrıklaştırmadır. Ancak, alternatif yöntemde her bir metrik ayrı ayrı ayrıklaştırılacağından bahse konu tip yöntemin uygun olmadığı değerlendirilmiş ve gözetimsiz ayrıklaştırma yöntemi kullanılmıştır.

Literatürde, gözetimsiz veri ayrıklaştırma başlığı altında temel olarak iki farklı metottan bahsedilmektedir. Bunlardan ilki eşit aralıklı ayrıklaştırmadır. Bu yöntemde verideki en büyük ve en küçük değerlerin farkı alınarak ayrıklaştırılmak istenen aralık sayına bölünür. Böylece aşağıdaki denklemden de görüleceği üzere aralıkların büyüklüğü bulunmuş olur.

$$w = \frac{v_{max} - v_{min}}{k}$$

Bu denklemdeki $w$ aralıkların genişliklerini, $v_{max}$ veri setindeki en büyük değeri, $v_{min}$ veri setindeki en küçük değeri ve $k$ ayrıklaştırılmak istenen aralık sayısını ifade etmektedir. Bundan sonra kesim noktaları aşağıdaki denkleme göre belirlenir.

$$v_{min} + w, v_{min} + 2w, \dots, v_{min} + (k-1)w$$

Kesim noktalarının belirlenmesinden sonra veri setindeki elemanlar değerlerine göre kesim noktaları ile ayrılmış olan aralıklarına atanır.

Bir diğer gözetimsiz ayrıklaştırma metodu olan eşit frekanslı veri ayrıklaştırma metodunda ise amaç, her ayrıklaştırılmış aralığa aynı sayıda eleman atayabilmektir. Aralıkların eleman sayısı toplam veri sayısının ayrıklaştırılmak istenen aralık sayısına bölünmesiyle bulunur. Daha sonra veriler küçükten büyüğe sıralanarak, aralık eleman sayılarına göre en küçükten başlanarak ayrıklaştırılır.

Yukarıda bahsedilen veri ayrıklaştırma yöntemleri kullanıldığında bazı sorunlar yaşanmaktadır. Bu sorunlardan ilki eşit aralıklı veri ayrıklaştırma metodu için geçerlidir. Değişmez kesim noktalarına sahip olduğundan dolayı bazı sınırdaki verilerin ait olacağı aralıklar konusunda kesin bir ayrım yapılamamaktadır. Özellik olarak bir önceki veya bir sonraki aralığa daha yakın olsa da sınırlardan dolayı başka bir aralıkta bulunmaktadır. Diğer bir sorun ise eşit frekanslı veri ayrıklaştırma için geçerlidir. Buradaki sorun dağılımı tekdüze ya da tekdüze dağılıma yakın olmayan veri setlerinin ayrıklaştırılması işleminde benzer özelliklere sahip verilerin farklı aralıklarda bulunabilmesidir.

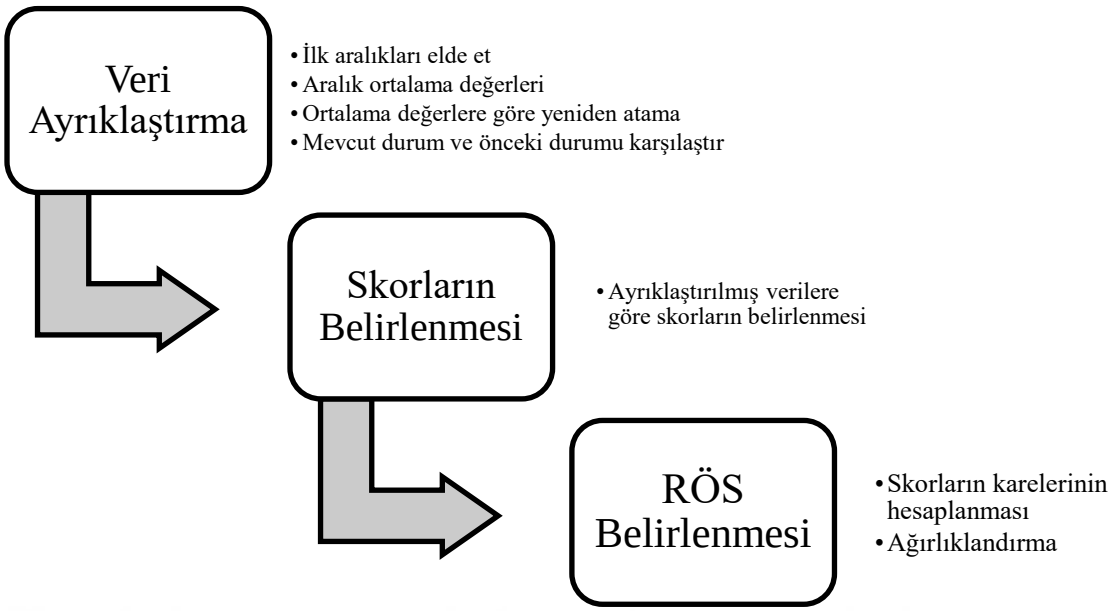
Alternatif yöntemde bahsedilen sorunları çözmek için bir yol önerilmiştir. Buna göre ilk olarak veriler EAA ve EFA'ya göre ayrıklaştırılır. Daha sonra ayrıklaştırılan her aralığın içine düşen verilerin ortalaması alınır. Aralık sayısı kadar ortalama değer elde edilir. Ardından tekrar bir ayrıklaştırma yapılır. Bu ayrıklaştırma yapılırken her bir verinin tüm ortalama değerlere uzaklıkları hesaplanır. İşlem sonucunda her bir veri uzaklık mutlak değeri en küçük olan ortalama değerin aralığına dâhil edilir. Bu işlem aralıkların elemanları değişmeyene kadar devam ettirilir. Bu yolla sınırlarda kalan verilerin daha benzer özellikte olduğu aralığa dâhil edilmesi amaçlanmıştır. Böylece eşit aralıklı veri ayrıklaştırma metodundaki sorun çözülmüş olur. Ancak eşit frekanslı veri ayrıklaştırma yönteminde veriler yerel ortalama değerlerine takıldığı için optimum bir çözüm elde edilememiştir. Kullanılan veri setinin tekdüze dağılımdan çok uzak bir dağılıma sahip olması da bu durumun sebepleri arasındadır.

Verilerin ayrıklaştırılmasından sonra RÖS'ün elde edilmesi için yine geleneksel HTEA'ya alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Alternatif yöntemde RÖS'ün çarpılması yerine karelerinin toplanması düşünülmüştür. Geleneksel RÖS hesaplanması sırasında 1000 değerden sadece 120 tanesi kullanılırken, bu yöntem ile 298 değerden 157 tanesi elde edilebilmektedir, böylece çözünürlük artırılmaktadır. Karelerin toplamı yöntemine göre en

küçük RÖS 3 ($1^2+1^2+1^2$), en büyük RÖS 300 ($10^2+10^2+10^2$) olacaktır. Söz konusu yöntemin diğer katkılarına bakıldığında;

- Risk metriklerinin farklı kombinasyonlara sahip hata türleri için aynı RÖS'ün elde edilme problemi çözülmüştür.
- Farklı dağılımlara sahip risk metrikleri arasında doğrudan bir ilişki kurulmadığı için karelerinin toplanması hususu bir sorun teşkil etmemektedir.
- Risk metriği değerleri arttıkça birim artışların RÖS üzerindeki etkisi de artmaktadır. Bu sayede bir metrik değerinin 2'den 3'e artmasıyla 8'den 9'a artması arasındaki fark açık bir şekilde ortaya konmuştur. 2'den 3'e artış 5 birimlik bir etki yaratırken 8'den 9'a artış 17 birimlik bir etki yaratmaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen alternatif yöntemin adımları Şekil 3'te detaylı olarak verilmiştir. Alternatif yöntem temel olarak üç adımdan oluşmaktadır. Öncelikle objektif bir skor politikası için veri ayrıklaştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu adımda eşit aralıklı ayrıklaştırma yöntemine göre ilk aralıklar elde edilir. Ardından ayrıklaştırılmış aralıkların elemanlarının ortalamaları hesaplanır. Daha sonra belirlenen ortalama değerlere tüm metrik değerlerinin ayrı ayrı uzaklıkları hesaplanır ve en kısa uzaklığın elde edildiği aralığa dahil edilir. Son olarak son elde edilen aralıklar ile bir önce elde edilen aralıklar karşılaştırılır, sonuç aynı ise adım tamamlanır, farklı ise tekrar ortalama değerler hesaplanarak işlemlere devam edilir. Yöntemin ikinci adımında elde edilen ayrıklaştırılmış değerlere göre skorlar belirlenir. Yöntemin üçüncü ve son adımında ise skor değerlerinin kareleri daha önce entropi yöntemi ile elde edilmiş ağırlık değerleri ile çarpılır. Elde edilen çarpım değerleri toplanarak RÖS değerleri elde edilir ve bu değerlerin büyükten küçüğe sıralanması ile hata türlerinin sıralama işlemi tamamlanmış olur.




**Şekil 3. Alternatif Yöntem Akış Diyagramı**

### 4.3. Gri İlişkisel Analizi

Gri ilişkisel analizi alternatifler arasında sıralama ya da seçim yapabilmek için 6 adımdan oluşan bir hesaplama yapmaktadır.

**Adım 1 –** *Veri setinin hazırlanması ve karar matrisinin oluşturulması*

Bu tez çalışmasında 3 adet risk metriği kullanılmıştır. *n* tane risk metriği faktör serilerinin genel gösterimi aşağıdaki verilen denklem şeklinde olacaktır.

$$x_i = \left(x_i(j), \dots, x_i(n)\right)$$

Burada *i* arıza türünü tanımlamaktadır. *j* ise risk metriğinin türünü tanımlamaktadır. Verilen faktör serisinin genel gösteriminden yola çıkılarak, 260 hata türü için karar matrisi X, aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & \cdots & x_1(n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m(1) & \cdots & x_m(n) \end{bmatrix}$$

**Adım 2 –** *Referans serisi ve karşılaştırma matrisinin oluşturulması*

Gri ilişkisel analizinde referans seri, tercih edilen değerler olarak düşünülebilir. Elde edilen risk metriklerine göre küçük değerler isteniyorsa veri içindeki en küçük değer ya da daha küçük bir değer; optimal değer isteniyor ise ortalama bir değer; son olarak büyük değerler isteniyorsa veri setindeki en büyük değer ya da daha büyük bir değer referans seri değerlerini oluşturur. Referans seri için genel gösterim aşağıdaki denklemdeki gibi olacaktır.

$$x_0 = \left(x_0(1), x_0(2), \ldots, x_0(n)\right)$$

Referans seri değerlerine karar verildikten sonra, bu değerler karar matrisinin ilk satırına eklenerek karşılaştırma matrisi oluşturulur.

**Adım 3 –** *Karar matrisinin normalize edilmesi ve normalizasyon matrisinin oluşturulması*

Alternatifler arasında sıralama yapılırken alternatiflerin sayısal değerleri çok farklı büyüklüklerde veya birimlerde olabilir. Bu verilerin aynı veri aralığına getirilmesi işlemine normalizasyon denir. Normalize veriler üzerinde daha kolay ve doğru işlem yapmak için gerekli bir işlemdir. Normalizasyon işlemi yaparken, homojen olmayan metrikler için bazı durumlarında küçük değerler tercih edilirken, bazı durumlarda değerlerin büyük olması istenmektedir. Örneğin, araba almak isteyen bir kişi aracın yaptığı toplam kilometre değerinin küçük olmasını isterken, bagaj hacminin büyük olmasını tercih eder. Bu durumda farklı kriterler için farklı normalizasyon işlemleri gerekmektedir. GİA'da 3 farklı normalizasyon türü vardır. Bunlardan ilki, büyük değerlerin tercih edildiği durumdur. Bu durumda normalizasyon işlemi için gerekli formül aşağıdaki denklemdeki gibi olacaktır.

$$x_i^* = \frac{x_i(j) - \min\limits_j x_i(j)}{\max\limits_j x_i(j) - \min\limits_j x_i(j)}$$

Küçük değerlerin tercih edildiği durumda ise formül aşağıdaki denklemdeki gösterildiği şekilde olacaktır.

$$x_i^* = \frac{\max\limits_j x_i(j) - x_i(j)}{\max\limits_j x_i(j) - \min\limits_j x_i(j)}$$

Son olarak optimal değerin istendiği durumlarda ise denklem aşağıdaki hali almaktadır.

$$x_i^* = \frac{|x_i(j) - x_{0b}(j)|}{\max\limits_j x_i(j) - x_{0b}(j)}$$

Bu denklemdeki $x_{0b}(j)$ değeri optimal değer olup bahsedilen kriterin en küçük ve en büyük değerleri arasında değer almaktadır.

**Adım 4 –** *Mutlak değer tablosunun oluşturulması*

GİA'yı gerçekleştirmek için normalizasyon işleminden sonra, normalize edilmiş değerler ile referans serinin mutlak farkının bulunması gelmektedir. Bu işlem için gerekli denklem aşağı verilmiştir.

$$\Delta_{0i} = |x_0^*(j) - x_i^*(j)|$$

Burada $\Delta_{0i}$ her bir hata türü ile referans seri arasındaki mutlak uzaklığı tanımlamaktadır. Mutlak farkların alınması sonucundan karşılaştırma matrisi, aşağıdaki hali alacaktır.

$$\Delta_{0i} = \begin{bmatrix} x_{0,1}(1) & \cdots & x_{0,1}(n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{0,m}(1) & \cdots & x_{0,m}(n) \end{bmatrix}$$

**Adım 5 –** *Gri ilişkisel katsayı matrisinin oluşturulması*

Bir önceki adımda elde edilen karşılaştırma matrisi kullanılarak gri ilişkisel katsayı matrisi oluşturulur. Matris için gerekli formüller aşağıda verilen denklemdeki gibi olacaktır.

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\Delta_{min} + \xi\Delta_{max}}{\Delta_{0i}(j) + \xi\Delta_{max}}$$

Burada $\gamma_{0i}(j)$ referans seri baz alınarak elde edilmiş gri ilişkisel katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Buradaki $\Delta_{max}$ ve $\Delta_{min}$ aşağıda verilen formüller yardımı ile hesaplanır.

$$\Delta_{max} = \max_i \max_j \Delta_{0i}(j)$$

$$\Delta_{min} = \min_i \min_j \Delta_{0i}(j)$$

Katsayı matrisini oluşturmak için verilen denklemde $\xi$ [0,1] arasında bir katsayıyı ifade etmektedir. Bu katsayının amacı $\Delta_{0i}$ ile $\Delta_{max}$ arasındaki farkı ayarlamaktır. Ancak, yapılan çeşitli çalışmalarda $\xi$'nin farklı değerleri için sonucun değişmediği görülmüştür. Bu yüzden genellikle 0,5 değerini almaktadır.

**Adım 6 –** *Gri ilişkisel derecelerinin hesaplanması*

Son adım olarak gri ilişkisel derecelerinin hesaplanması adımında bir önceki adımda elde edilmiş katsayı matrisi kullanılır. Elde edilen katsayılar ile kriterlerin çarpımlarının toplanmasıyla gri ilişkisel dereceleri hesaplanır. Bu hesaplama işlemi için gerekli denklem aşağıda verilmiştir.

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^{n} [w_i(j) \cdot \gamma_{0i}(j)]$$

Adımların sonunda hesaplanan $\Gamma_{0i}$ değeri her bir hata türü için gri ilişkisel derecesini göstermektedir. Denklem sayesinde elde edilen gri ilişkisel dereceleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. Sıralama sonucunda en büyük değeri alan alternatifin diğer alternatiflere

göre referans seri ile en üst düzeyde ilişkisi olduğu sonucu elde edilir. En büyük gri ilişkisel derecesine sahip alternatif, istenilen kriterlere en uygun alternatif olarak seçilebilir.

## 4.4. TOPSIS

TOPSIS metodu sıralama yapmak için 6 adımdan oluşan bir yol izler ve bu adımlar şu şekilde sıralanabilir [57]:

**Adım 1 –** *Karar matrisinin oluşturulması*

Satırları alternatifleri, sütunları kriterleri gösteren *mxn* boyutlarında bir matristir. Burada *m* alternatif sayısını, *n* kriter sayısını, $x_{ij}$ ise i. alternatifin j. kriterden aldığı değeri göstermektedir. Aşağıda karar matrisinin gösterimine yer verilmektedir.

$$D=\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

**Adım 2 –** *Normalize matrisinin hesaplanması*

Karar matrisindeki alternatiflerin kriterlerde aldığı değerler, çok farklı sayı aralıklarında olabilmektedir. Bu yüzden hem kriterleri aynı sayı aralığına çekmek hem de daha sağlıklı sonuçlar için bir normalizasyon işlemi gerekmektedir. TOPSIS metodunda normalizasyon, bir değerin o sütundaki tüm değerlerin ayrı ayrı karelerinin toplamının karekökünе bölünmesi ile elde edilir. Bu yorumun formülize edilmiş hali aşağıda yer almaktadır.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}$$

Burada $n_{ij}$ i alternatifin j kriterinde aldığı değerin normalize edilmiş halidir. Normalizasyon işlemi sonrasında karar matrisi aşağıdaki hali alır.

$$N=\begin{bmatrix} n_{11} & \cdots & n_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & \cdots & n_{mn} \end{bmatrix}$$

**Adım 3 –** *Ağırlıklandırılmış normalize matrisinin hesaplanması*

TOPSIS adımları arasındaki tek sübjektif yargılar içeren durum kriterlerin ağırlıklandırılmasıdır. Burada karar verici, kriterlerin önem sırasına göre kriterlere ağırlıklar vermektedir. Ağırlıklandırılmış normalize matris *V*, ise normalize edilmiş matrisin elemanlarının ilgili kriterin ağırlıkları ile çarpımı sonucu hesaplanır. Bu işlem sonucunda matris aşağıdaki gibi olacaktır.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 n_{11} & \cdots & w_n n_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 n_{m1} & \cdots & w_n n_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

**Adım 4 –** *İdeal ve negatif ideal çözüm değerlerinin hesaplanması*

Matris işlemlerinden sonra sıradaki adım ideal ve negatif ideal çözümlerinin elde edilmesidir. Maksimizasyon problemleri için ideal çözüm bir sütundaki en büyük değerler, negatif ideal çözüm ise sütun değerlerinin en küçük değerleridir. Buradan hareketle ideal çözüm ve negatif ideal çözüm değerleri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$
$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

Burada $A^*$ ideal, $A^-$ ise negatif ideal çözüm kümesini göstermektedir. $v_i^*$ i sütununda ki en büyük değeri ifade ederken, $v_i^-$ i sütunundaki en küçük değeri ifade etmektedir. Tanımlar maksimizasyon problemleri için verilmiştir. Minimizasyon problemleri için bahsedilen tanımların tam tersi düşünülebilir.

**Adım 5 –** *İdeal ve negatif ideal noktalara olan uzaklığın hesaplanması*

TOPSIS metodu en iyi alternatifi seçerken hem ideal hem de ideal olmayan çözüme uzaklığı düşündüğü için alternatif sayısının iki katı kadar uzaklık değeri elde edilir. Bahsedilen uzaklıklar hesaplanırken öklid uzaklığı kullanılır. Ağırlıklar ile çarpılmış değerler için uzaklıklar aşağıdaki formüllere göre hesaplanmaktadır.

İdeal uzaklık $S_i^*$ için;

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^*\right)^2}$$

Negatif ideal uzaklık $S_i^-$ için;

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^-\right)^2}$$

Burada $S_i^*$ i alternatifinin ideal çözüme uzaklığını, $S_i^-$ ise i alternatifinin negatif ideal çözüme olan uzaklığını göstermektedir.

**Adım 6 –** *Alternatiflerin sıralanması*

Alternatiflerin sıralanması bir önceki adımda hesaplanan uzaklık değerlerinin birlikte kullanılarak bir katsayı elde edilmesi ile yapılır. Bu katsayı aşağıdaki formüle göre elde edilir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$$

Burada $C_i^*$ i alternatifin hesaplamalar sonucunda elde edilmiş sıralama katsayısını göstermektedir. Elde edilen katsayıların büyükten küçüğe doğru sıralanması ile

alternatiflerin sıralanması sağlanmış olur. En baştaki değer en uygun alternatifi gösterirken, aşağılara indikçe alternatiflerin uygunluğu azalmaktadır.

## 4.5. VIKOR

VIKOR yöntemi çok kriterli karmaşık sistemlerin optimizasyonu için önerilmiş bir yöntem olarak değerlendirilebilir. VIKOR yönteminde sonuçlara 6 adımdan oluşan bir çözüm süreci sonrasında ulaşılır. Bahsedilen adımlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir [57].

Adımlara başlamadan önce çözülecek problem için alternatifler, kriterler ve her bir alternatifin her bir kriterde aldığı değer, karar matrisinin oluşturulması için hesaplanır. Bu sayede satırları alternatiflerden, sütunları kriterlerden oluşan aşağıdaki şekilde karar matrisi X, oluşturulur.

$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

**Adım 1 –** *En iyi ve en kötü kriter değerlerinin belirlenmesi*

Karar matrisinin oluşturulması akabinde, her bir kriter için en iyi $f_j^*$ ve en kötü $f_j^-$ değerler tespit edilir. Maksimizasyon problemi için formüller aşağıdaki denklemlerdeki gibi olacaktır.

$$f_j^* = \max_i x_{ij}$$

$$f_j^- = \min_i x_{ij}$$

Problem bir minimizasyon problemi ise denklemdeki en iyi ve en kötü değerler yukarıda verilen denklemlerin tersi şeklinde hesaplanacaktır.

**Adım 2 –** *Normalizasyon*

Elde edilen karar matrisindeki değerleri birbirleri ile kıyaslayabilmek için lineer normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem için gerekli denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$r_{ij} = \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$$

Burada $r_{ij}$ i. alternatifin j. kriterde aldığı değerin normalize edilmiş halini göstermektedir. Normalizasyon işlemi sonucunda karar matrisi normalize edilmiş R, halini alır.

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

**Adım 3 –** *Ağırlıklandırma*

Çok kriterli karar verme problemlerinde kriterlerin birbirinden farklı önem dereceleri olabilmektedir. Kriterlerin aldığı farklı ağırlıklar ile önem dereceleri belirlenmiş olur. VIKOR yönteminde normalize edilmiş değerlerin, kriterlerin ağırlık değerleri ile çarpılması sonucunda ağırlıklandırılmış değerler elde edilir. Bu işlem için gerekli denklem aşağıdaki gibidir.

$$v_{ij} = r_{ij} \,.\, w_j$$

Burada $w_j$ değeri j. kriterin ağırlık değerini göstermektedir. Normalize edilmiş değerlerin tümü için ağırlıklı değerlerin hesaplanması sonucunda aşağıda verilen şekilde ağırlıklandırılmış normalize matrisi elde edilir.

$$\text{V}=\begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

**Adım 4 –** *$S_i$ ve $R_i$ değerlerinin hesaplanması*

$S_i$ ve $R_i$ değerleri sırasıyla her bir alternatif için ortalama ve en kötü grup skorlarını ifade etmektedir. Bahse konu değerler için denklemler aşağıda verilen şekilde olacaktır.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} v_{ij}$$

$$R_i = \max_j v_{ij}$$

**Adım 5 –** *$Q_i$ değerlerinin hesaplanması*

$Q_i$ değerleri sıralamayı sağlayan değerlerdir. Hesaplanması aşamasında $S^*$, $S^-$, $R^*$ ve $R^-$ parametreleri kullanılır. Bahsedilen değerler sırasıyla;

$$S^* = \min_i S_i$$

$$S^- = \max_i S_i$$

$$R^* = \min_i R_i$$

$$R^- = \max_i R_i$$

Bu değerler ve $q$ değeri yardımıyla her bir alternatif için $Q_i$ değerleri hesaplanır. Burada $q$ değeri maksimum grup faydası için ağırlığı ifade eder. $Q_i$ değerleri için denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$Q_i = \frac{q \,.\, (S_i - S^*)}{S^- - S^*} + \frac{(1-q).(R_i - R^*)}{R^- - R^*}$$

**Adım 6 –** *Alternatiflerin sıralanması ve koşulların denetlenmesi*

$Q_i$, $S_i$ ve $R_i$ değerleri küçükten büyüğe sıralanarak 3 farklı sıralama elde edilir ve $Q_i$ değerlerinin aşağıda verilen 2 koşulu sağlayıp sağlamadığına bakılır.

*Koşul 1 – Kabul edilebilir avantaj:* $Q_i$ değerleri küçükten büyüğe sıralandığında ilk iki alternatif için aşağıda verilen denklemin sağlanması durumudur.

$$Q(A^2) - Q(A^1) \geq DQ$$

Burada $A^1$ ve $A^2$ sırasıyla birinci ve ikinci alternatifleri göstermektedir. $DQ$ ise alternatif sayısına bağlı olup *m* alternatif sayısını göstermek üzere

$$DQ = \frac{1}{1-m}$$

denklemi ile hesaplanır.

*Koşul 2 – Kabul edilebilir istikrar koşulu*: $Q_i$ değerlerine göre yapılan sıralamada birinci sırada olan alternatifin diğer sıralamalarda da birinci sırada olma durumudur.

Yukarıda belirtilen koşulların birinin sağlanmadığı durumda uzlaşık çözüm kümesi için aşağıda verilen durumlar önerilir.

- Kabul edilebilir istikrar koşulu sağlanmıyorsa ilk iki sıradaki alternatif uzlaşık çözüm olarak kabul edilir.
- Kabul edilebilir avantaj koşulu sağlanmıyorsa alternatiflerin tamamı uzlaşık çözüm olarak kabul edilir.

# 5. ÖRNEK ÇALIŞMA

Bilgisayarlar gün içerisinde yaptığı işlemleri ve hata kayıtlarını veri günlüklerinde saklamaktadır. Bu tez çalışmasında bilgisayarların günlük olarak ürettikleri veri kayıtları yapılan çalışmanın uygulamasında kullanılmıştır. Bir sonraki bölümde örnek çalışmaya başlamadan önce bilgisayar veri günlüklerinin neden saklandığı, nerelerde kullanıldığı, nasıl işlendiği ve bazı uygulama örnekleri hakkında genel bilgiler verilecektir.

## 5.1. Bilgisayar Veri Günlükleri ve Kullanım Alanları

Günlük hayatımızda kullandığımız bilgisayarlar yaptıkları işlemlerin veri günlük dosyalarını saklamaktadır. Veri günlüklerinde kaydedilen bilgilerin başında sistem hataları, uygulama hataları, durumlar ve performans hakkında bilgiler gelir. Veri günlükleri oldukça faydalı bilgiler içermesine rağmen bazı gürültü kayıtları da içerebilmektedir. Bu yüzden, veri günlükleri analistler tarafından dikkatli bir şekilde incelenmelidir[70]. Ayrıca veri günlüklerinde yer alan çeşitli bilgiler aşağıda örneklendirilen uygulamalar için de kullanılmaktadır.

- Ağ sistemlerinde hata analizi,
- Bulut bilişim ve dosya paylaşımları için adli bilişim,
- Beklenmedik durumlarda sistemi geri yükleme,
- Kullanıcıların internetteki ilgi alanlarının araştırılması,
- Anormal ve izinsiz girişlerin tespiti,
- Sistem görüntüleme.

Bazı uygulama programları bilgisayar veri günlüklerinin daha düzenli saklanmasını sağlar. Uygulama programları bu kayıtları güvenlik amaçlı, performans takibi ve sistem geri yükleme işlemlerini sağlayabilmek için saklar. Fakat geleneksel yollar ile kayıt saklama işlemleri verimsiz bir şekilde yapılmaktadır. Bu yüzden Finlayson ve Cheriton [71] veri günlüklerinin işlenme zamanını azaltan bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemde verimliliği arttırmak için log yazma, log okuma, analiz maliyetleri ve toplam maliyet kriterleri düşünülmüştür.

Öte yandan, küçük veri günlük dosyalarının analizi basit ve kolayca yapılabilirken, büyük veri günlükleri işlenmek istendiğinde bir takım problemler ortaya çıkmaktadır. Eick ve diğerleri [70], önermiş oldukları yöntem ile büyük veri günlüklerinin analizlerini kolaylaştırmayı hedeflemişlerdir. Bu yöntem veri günlük dosyalarına görsellik katmaktadır. Bu sayede, ciddi hatalar, zaman eğilimli hatalar, işlemci ile ilgili ve peş peşe gelen hataların

fark edilmesi kolaylaştırılmıştır. Veri günlüklerinin grafiksel olarak analiz edilmesi analiz için gerekli süreyi de kayda değer oranda azaltmıştır.

Bilgisayar veri günlüklerinin kullanıldığı bir diğer alan ise siber saldırılardır [72]. Geçmişte siber saldırılar, genellikle rastgele saldırılar şeklinde olmaktayken, günümüzde bu saldırılar daha sistematik ve uzun dönemli olarak gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmada, siber saldırılar için veri günlüklerinin nasıl analiz edileceğine yönelik bir yönerge verilmiştir. İlaveten, güvenli veri günlükleri için bir yöntem önerilmiş ve böylece müşteri memnuniyetinin gerçek zamanlı görüntüleme ile artırılması amaçlanmıştır.

Günümüzde anormal girişlerin tespiti önemli bir konu haline gelmiştir. Fakat bu işlem oldukça zaman alıcı ve zor bir işlem olup bazı yanlış alarmların alınması da muhtemeldir. Bu çerçevede Sipola ve diğerleri [73] veri günlüklerinin daha kolay ve doğru bir şekilde işlenmesine yönelik bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemde, anormal girişlerin tespiti ve yanlış alarm oranını azaltmak için veri günlükleri işlenirken boyutsal azaltma, n-gram ve difüzyon haritalandırma yöntemleri kullanılmıştır.

Ağ sistemlerinde en önemli konu siber güvenlik problemleridir. Ayrıca yaşanan güvenlik problemlerinin zamanında tespiti de oldukça önemli bir durumdur. Bahsedilen iki durumda en kısa sürede ve doğru bir şekilde yapılmalıdır. Wurzenberger ve diğerleri [74] geliştirmiş oldukları yöntemde bahsedilen iki konuyu ele almıştır. Önerilen yöntemde, büyük veri günlüklerinin yerine, daha küçük veri günlük dosyası örnekleri kullanılmıştır. Bahsedilen daha küçük veri günlük dosyaları tüm sistemi temsil edecek şekilde seçilmiştir ve el ile analiz edilebilecek büyüklüklerdedir. Ardından veri satırları karakteristiklerine göre sınıflandırılmış ve ağ güvenliği için bir markov zinciri simülasyonu uygulanmıştır. Son olarak, NES (Network Event Sequence) verileri üzerinde ilişkili bir örnek analiz edilmiştir.

Bilgisayar veri günlükleri sistemlerin verimliliğini arttırmakta önemli bir rol oynamaktadır. Nguyen [75], uçuşlarda müşteri memnuniyetini arttırma amacıyla gerçekleştirdiği çalışmasında dijital multimedya dağıtım sistemlerindeki iletişim birimlerindeki hataların analizi için gereken sürenin azaltılmasını hedeflemiştir. Yapılan çalışmada hata türlerinin analizi ve sıralanmasında HTEA kullanılmıştır.

Her alanda olduğu üzere, bilgisayar ağ sistemlerinde gerçekleşen hataların önceden tahmin edilmesi önem arz eden durumlar arasındadır. Ancak, bir hatanın önceden tahmin edilmesi önemli olduğu kadar zor bir işlem olduğu için amacına yönelik ve doğru bir şekilde

yapılmalıdır. Russo ve diğerleri [76], daha güvenilir hata tahmin etme yöntemleri hakkında çalışmalar yapmış ve bu çalışmayı gerçek dünya problemi üzerine uygulamışlardır.

Önceki paragraflarda bahsedilen konular genel olarak veri günlüklerinin analizi ve analiz yöntemlerinin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Çeşitli analiz araçlarıyla üretilen ilk sonuçların yorumlanması ve bunlardan çıkarımlar yapılarak sonuçların değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Hadoop ve Apache Spark, bilgisayar veri günlüklerinin analizi için geliştirilmiş başlıca yazılımlardır. Mavridis and Karatza [77] yapmış oldukları çalışmada siber saldırıların önlenmesi adımında bahsedilen iki yapının verimliliğini karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma uygulama zamanı, kaynak kullanımı ve ölçeklenebilirlik olmak üzere 3 kriter açısından değerlendirilmiştir.

## 5.2. Veri Setinin Tanımlanması ve Veri Önişlemleri

Bu tez çalışmasında örnek çalışmada kullanılmak üzere bilgisayar veri günlük dosyaları (Computer Log Data) kullanılmıştır. Kullanılan veri günlüğü 120 günlük zamanı içermektedir. Bu dosya 2.07 GB boyutunda ve yaklaşık olarak 19 milyon satırdan oluşmaktadır. Kullanılan veri setinde 36 sunucu ve bu sunuculara bağlı farklı sayılarda veri kaynakları bulunmaktadır. İşlenecek olan veri günlükleri satırları sistemin başlama zamanı, hata türü hakkında bilgi, bazı tekrarlanan satırlar ve bazı gereksiz satırlardan oluşmaktadır.

Bu veri satırları CACTI adı verilen bir program sayesinde elde edilmektedir. CACTI programı ilişkilendirildiği sistem birimleri hakkında 5 dakikada bir sorgulama yaparak birimler hakkındaki bilgileri depolamaktadır. Yapılan bu sorgulama sonucunda 3 farklı hata türü elde edilmektedir. Sorgulamalar CACTI bünyesinde barındırılan uygulamalar ile yapılabildiği gibi (örnek bir hata türü Şekil 4'te verilmiştir), sorgulamanın yetersiz kaldığı durumlarda bazı yama uygulamalar ile de sorgulama yapılabilmektedir( örnek bir hata türü Şekil 5'te verilmiştir). Şekil 6'da gösterilen hata türü ise CACTI programının yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Eğer programın daha üst versiyonları yüklenirse bu tip hata türlerinin giderileceği düşünülmektedir.

```
05/21/2014 12:40:03 PM - CMDPHP: Poller[0] Host[6] DS[247]
WARNING: Result from SNMP not valid.  Partial Result: U
```

**Şekil 4. SNMP Hata Türü için Bir Örnek**

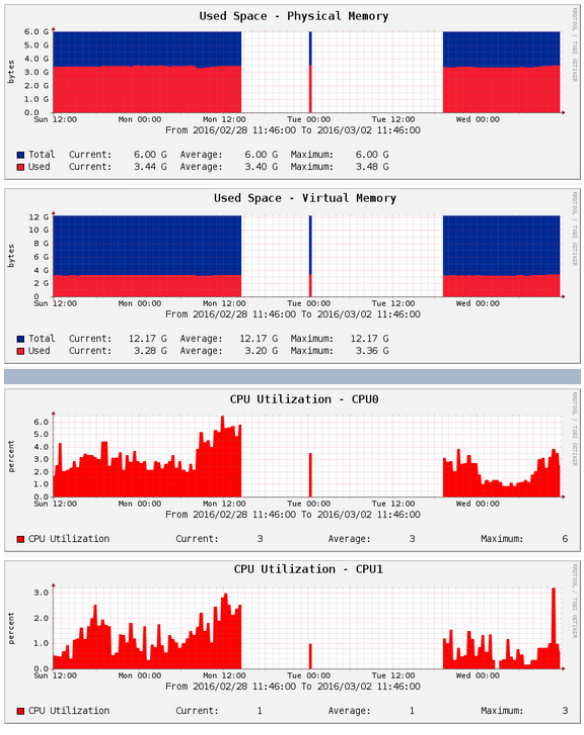
```
05/21/2014 12:40:06 PM - CMDPHP: Poller[0] Host[13] DS[172]
WARNING: Result from CMD not valid.  Partial Result: U
```

**Şekil 5. PERL Hata Türü için Bir Örnek**

```
05/21/2014 12:40:54 PM - CMDPHP: Poller[0] Host[116] DS[1816]
WARNING: Result from SERVER not valid.  Partial Result: U
```

**Şekil 6. SERVER Hata Türü için Bir Örnek**

Şekillerde gösterilen hata türü örnekleri, hatanın zamanı, hatanın sunucusu, veri kaynağı (DS) ve hata türü hakkında bilgiler vermektedir. Burada bahsedilen Poller aynı anda yapılan paralel işleri temsil etmektedir. Veri günlüğünün alındığı süre zarfında sorgulanan birim sayısı yeterli olduğu için tek bir Poller sayısı yeterli olmuştur. Ancak sorgulanan birim sayısı artış gösterecek olursa farklı Poller sayılarını da görmek mümkündür. Sunucu (Host) ve sonrasında gelen sayı ise sorgulanan sunucuya sistem tarafından verilen sunucu numarasını temsil etmektedir. Son olarak DS sorgulanan birimin veri kaynağını temsil etmektedir. Bu veri kaynağı sorgulanan sunucu için anlık RAM, CPU vb. değeri olabilmektedir. Bahsedilen sunucular arasında 6 numaralı sunucu en fazla veri kaynağına sahiptir. En az veri kaynağına sahip sunucular bir tane veri kaynağına sahiptir. Bahsedilen sayılar bağlantı kopuklukları verisi üzerinden değerlendirilmiş. Sunucu sayısı ve ilgili sunucuların veri kaynağı sayıları kullanılan veri setinde bulunmama durumuna göre değişiklik gösterebilecektir. Sorgulama esnasında bir hata görülmesi durumunda Şekil 7'deki türde kopukluklar meydana gelmektedir. Bu hataların kısa süreli olanları sistem üzerinde önemli derecede bir sorun oluşturmayabilir. Fakat uzun süreli hatalar sunucuya ciddi derecede zararlar verebilmektedir. Bu yüzden veri akışının olabildiğince sürekliliği sağlanmalıdır.




**Şekil 7. CACTI Programında Veri Aktarımı Esnasındaki Kopukluklara Bir Örnek**

Bu tez çalışmasında, asıl ilgilenilen konu hata türleri olduğu için gereksiz satırlar, sistem başlama zamanları ile alakalı satırlar ve tekrarlanan satırlar veri setinden kaldırılmış ve veri satır sayısı yaklaşık olarak 10 milyona düşürülmüştür. Devam eden süreçte, büyük veri dosyası 500.000 satır içeren 19 text dosyasına bölünmüştür.

Büyük veri setinin küçük parçalara ayrılmasından sonra, sunucu ve veri kaynağı numaraları kullanılarak hata türleri elde edilmiştir. Bir hata türü 10 haneden oluşan rakam dizini ile tanımlanmaktadır. Burada, rakam dizininin ilk 5 hanesi sunucu numarasından, son 5 hanesi ise veri kaynağından gelmektedir. Veri kaynağı numarası 5 haneden küçük ise önüne 0 koyularak hane sayısı 5 haneye tamamlanmaktadır. Sunucu numarası 5 haneden küçük ise her hangi bir işlem yapılmamakta ve hata türü hane sayısı 6, 7, 8 ve 9 haneli olabilmektedir. Ardından, program 5 dakikada bir sorgulama yaptığı için 120 günlük süre 5 dakikalık zaman aralıklarına bölünmüştür, böylece 34.743 zaman aralığı elde edilmiştir. Bu işlem ile aynı zaman aralığında aktif olan hata türleri tespit edilmiştir. Veri setinde 954 hata türü belirlenmiştir. Böylece satırları zaman aralığını, sütunları hata türlerini gösteren ve hücreleri 1 ve 0'lardan oluşan 34.743 satır ile 954 sütuna sahip bir matris elde edilmiştir. Eğer bir hata türü ilgili zaman aralığında aktif ise kesişim hücresinin değeri 1 aksi takdirde 0 değerini almaktadır. Veri önişleme için kullanılan sözde kodlar Şekil 8'de özetlenmektedir.

1. Başla
2. Gereksiz satırları sil
3. Büyük veri setini daha küçük dosyalara böl
4. Sunucu ve veri kaynağı numaralarını kullanarak hata türlerini oluştur
5. Toplam süreyi 5 dakikalık zaman aralıklarına böl
6. Her bir zaman aralığında aktif olan hata türlerini bul
7. Birliktelik kuralı kullanarak destek değeri yüksek hata türlerini belirle
8. Bitir

**Şekil 8. Veri Önişleme Adımları Sözde Kodu**

Veri önişleme de birliktelik kuralının kullanım amacı, frekansı yüksek olmayan hata türlerinin belirlenerek veri setinden çıkarılmasıdır. Bu yüzden literatürde yaygın olarak kullanılan birliktelik kuralı metodu olan Apriori algoritması [78] kullanılarak eleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Apriori algoritmasında destek değerleri %5'den %85'e kadar %5 aralıklar ile denenmiştir. Destek değeri olarak %20 seçilmiştir. Bu değerinin seçilmesi sebebi, aşırı derecede detaylı sonuçlar vermeyerek analizin sonucunu etkileyecek hata türlerini veri setinden çıkarmamasıdır. Birliktelik analizi çalışması sonucunda hata türü

sayısı 268'e düşürülmüştür. Veri önişleme aşamalarından sonra geleneksel HTEA analizinde kullanılan hatanın şiddeti, hatanın frekansı ve hatanın tahmin edilebilirliği metrikleri yerine önerilen yeni metrikler kullanılmıştır.

## 5.3. Risk Önceliklendirme için Önerilen Metrikler

Bu tez çalışmasında geleneksel HTEA'nde kullanılan risk metrikleri yerine, bilgisayar günlük veri dosyalarından birliktelik kuralları ve verileri tanımlayıcı özellikler kullanılarak elde edilen veri tabanlı 5 risk metriği önerilmiştir. Bu metrikler sırasıyla frekans (F), hatalar arası zamanın ortalaması (HAZO), hatalar arası zamanın standart sapması (HAZSS), hataların devam etme süresinin ortalaması (HDESO), hataların birlikteliği (HB).

### 5.3.1. Frekans (F)

Bu metrik bir hata türünün 120 günlük süre içerisinde ne kadar süre etkin olduğu şeklinde tanımlanabilir. Bahsedilen metriğin sayısal değerini bulmak için, bir hata türünün 34.743 zaman aralığı içindeki tekrar sayısı, toplam zaman aralığı sayısı olan 34.743'e bölünür ve bu işlem sonucunda 0 ile 1 arasında bir sayı elde edilir. Elde edilen metrik değeri ile bu metriğin taşıdığı risk doğru orantılıdır. Yani bu metriğin değeri büyüdükçe, ilgili hata türünün risk değeri de artacaktır.

### 5.3.2. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması (HAZO)

Bir hata türü için iki aktif hata arasında geçen sürenin ortalaması önerilen bir diğer metriktir. Anılan metriğin sayısal değerini hesaplamak için, bir hata türü için 120 günlük süre zarfında hatasız olarak geçen tüm zaman aralıkları bulunmuş, daha sonra bu zamanların ortalaması alınmıştır. Bu hata türü için büyük değerler tercih edilmektedir. Diğer bir ifadeyle hataların arasında geçen zamanın olabildiğince büyük olması istenmektedir. Bahsi geçen risk metriğinin sayısal değeri arttıkça, ilgili hata türünün risk değeri azalacaktır. Bu metrik ile hatalar arası geçen zamanın hata türleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

### 5.3.3. Hatalar Arası Zamanın Standart Sapması (HAZSS)

Hatanın önceden tahmin edilebilirliği önemli bir kavramdır. Bir hatanın gerçekleşmeden önce engellenmesi, o hatanın gerçekleştiği durumdaki zararın giderilmesine nazaran tercih edilebilmektedir. Bu tercihe istinaden iki hata arasındaki sürenin standart sapması hesaplanarak hataların önceden tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. Hesaplama için bir hata türündeki bütün hatalar arası zamanlar bulunmuş ve bu hataların standart sapması hesaplanmıştır. Bahsedilen metrik için küçük değerler tercih edilmektedir, yani iki hata

arasında geçen sürenin standart sapması ne kadar küçük ise tahmin edilebilirliği o kadar yüksek olacaktır. Standart sapma değeri sıfıra yaklaştıkça hatanın gerçekleşme durumu standartlaşacaktır, bu sayede tahmin edilebilirlik artacaktır. Bahse konu risk metriğinin sayısal değeri arttıkça ilgili hatanın risk değeri artacaktır.

### 5.3.4. Hataların Devam Etme Süresinin Ortalaması (HDESO)

Bir süreçte hataların devam etme süresi de oldukça önemli bir değişkendir. Kısa süreli hatalar sürecin akışında kayda değer zararlar oluşturmazken, uzun süreli hataların sonuçları yıkıcı olabilir. Bundan dolayı bir diğer risk metriği olarak hataların devam etme süresinin ortalaması önerilmiştir. Bu metrik ile bir hata türünün hata süreci başladığında ne kadar süre devam ettiği hesaplanmak istenmiştir. Bir üretim süreci üzerine örnek verilecek olursa, bozulan bir makinanın veya sürecin ne kadar sürede tamir edildiği hesaplanmıştır. Hataların devam etme sürelerinin olabildiğince küçük olması tercih edilen durumdur. Bu durumda metriğin sayısal değerinin artması ilgili hata türünün de risk değeri artıracaktır.

### 5.3.5. Hataların Birlikteliği (HB)

Birden fazla hata içeren sistem veya süreçlerde bir hata birden fazla hatanın tetikleyicisi olabileceği gibi, bir hata birden fazla hata tarafından tetiklenebilecektir. Hataların birlikteliği birliktelik analizi ile tespit edilebilecektir. Bu metriği hesaplamak için ilk önce destek değeri %20 (120 günlük süre zarfında 24 gün ve üzeri aktif olarak devam eden) üzerinde olan hatalar birliktelik analizi ile tespit edilmiştir. Daha sonra bu hataların birlikte gerçekleştiği diğer hataların tespit edilmesi için birlikte gerçekleşen hata türleri kümeler altında toplanmıştır. Tüm hata türleri için bu metrik ile ilgili bir sayı elde edebilmek için kümelerin güven değeri düşük tutulmuştur. Ardından sayısal bir sonuç elde etmek için bir hata türünün bulunduğu tüm kümeler tespit edilmiş, sonrasında da her bir kümenin eleman sayısı ve belirtilen süre zarfında ne kadar tekrar ettiği bulunmuştur. Bir hata türü için bulunduğu her kümenin eleman sayısı ve tekrar sayısı çarpılmış ve sonuçta tüm sayılar toplanmıştır. Sonuç olarak bir hata türü için adı geçen metrik türünün sayısal değeri hesaplanmıştır. Bu işlem 268 hata türü için tekrarlanmıştır. Burada, risk metriğinin değerinin küçük olması tercih edilmektedir. Risk metriğinin değeri büyüdükçe ilişkili olduğu hata türü sayısı artacaktır.

## 5.4. Önerilen Metriklerin Analizi

Bölüm 5.3'te geliştirilen veri tabanlı HTEA için yeni metrik önerileri sunulmuştur. Bu metrikler aralarındaki ilişkilerin değerlendirilmesi için bu bölümde çalışılmıştır. Öncelikle, veri yardımı ile elde edilen metriklerin dağılımlarına bakıldığında (Bkz. Ek A), söz konusu

metriklerin standart dağılımlara iyi uyum sağlamadığı görülmektedir. Metriklerin bu şekilde dağılım göstermesi, metriklerin üzerinde yapılabilecek yorumları sınırlamaktadır. Örneğin, metriklerin dağılımları bilinen herhangi bir dağılıma uyum gösterseydi, bahse konu dağılım özellikleri kullanılarak metrikler hakkında çeşitli çıkarımlar elde edilebilirdi.

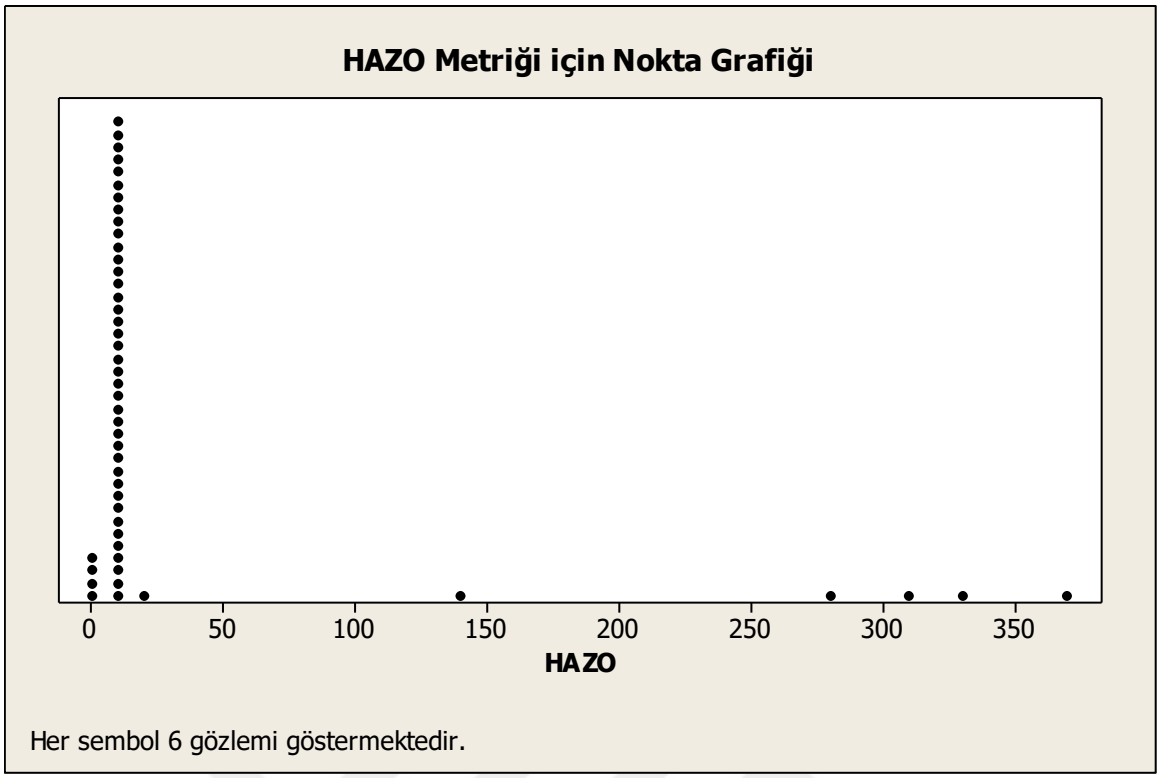
Metriklerin aralarındaki korelasyonların da analizi gerçekleştirilmiş, korelasyon ve p değerleri Tablo 5'te sunulmuştur. Tablodan görüleceği üzere HAZO, HAZSS ve HDES metrikleri arasındaki korelasyon oldukça yüksektir. Bu yüzden bu üç metriği bir arada risk önceliklendirme için kullanmak anlamsız olacaktır. Bundan dolayı risk önceliklendirme için HAZSS ve HDESO metrikleri önerilen metriklerin arasından çıkarılarak, risk önceliklendirme diğer 3 metrik ile hesaplanmıştır.

**Tablo 5. Metriklerin Arasındaki Korelasyon Matrisi**

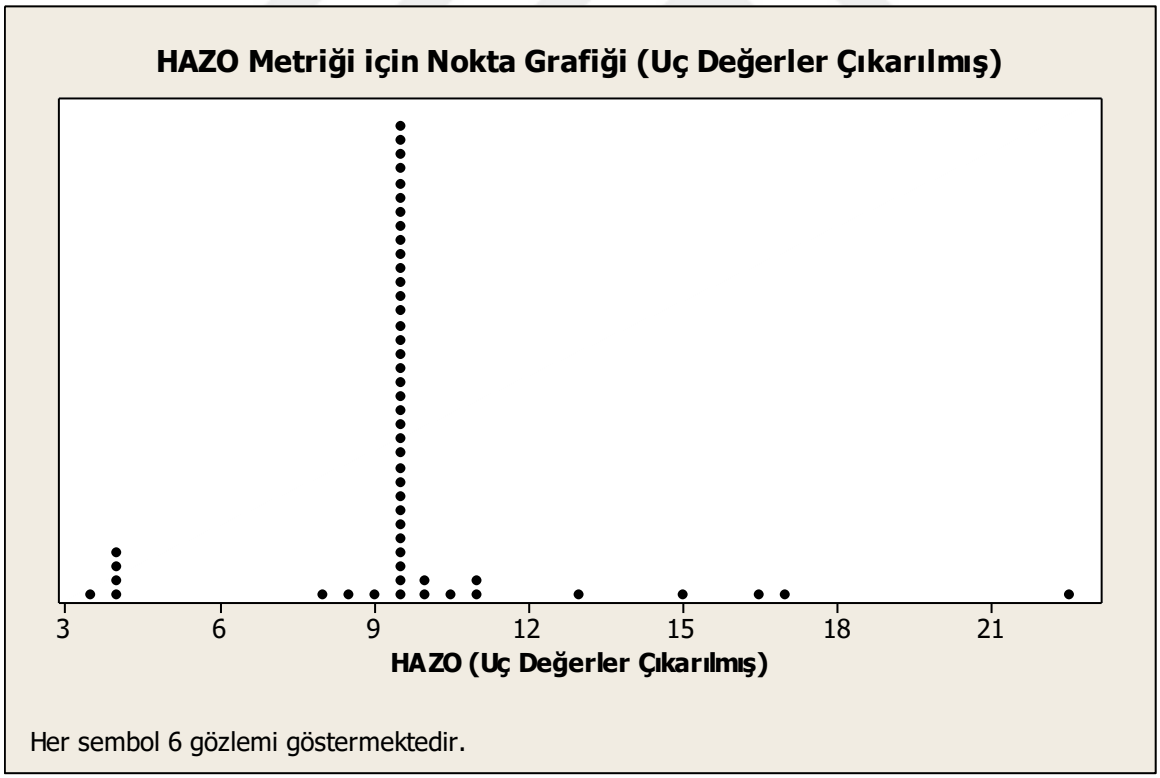
| | **HDESO** | **HAZO** | **HAZSS** | **F** |
|---|---|---|---|---|
| **HAZO** | 0,935* | | | |
| | 0,000 | | | |
| **HAZSS** | 0,999* | 0,948* | | |
| | 0,000 | 0,000 | | |
| **F** | 0,078 | -0,263 | 0,036 | |
| | 0,200 | 0,000 | 0,552 | |
| **HB** | 0,279 | 0,245 | 0,279 | 0,010 |
| | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,875 |

* aralarında yüksek korelasyon olan metrikleri göstermektedir.

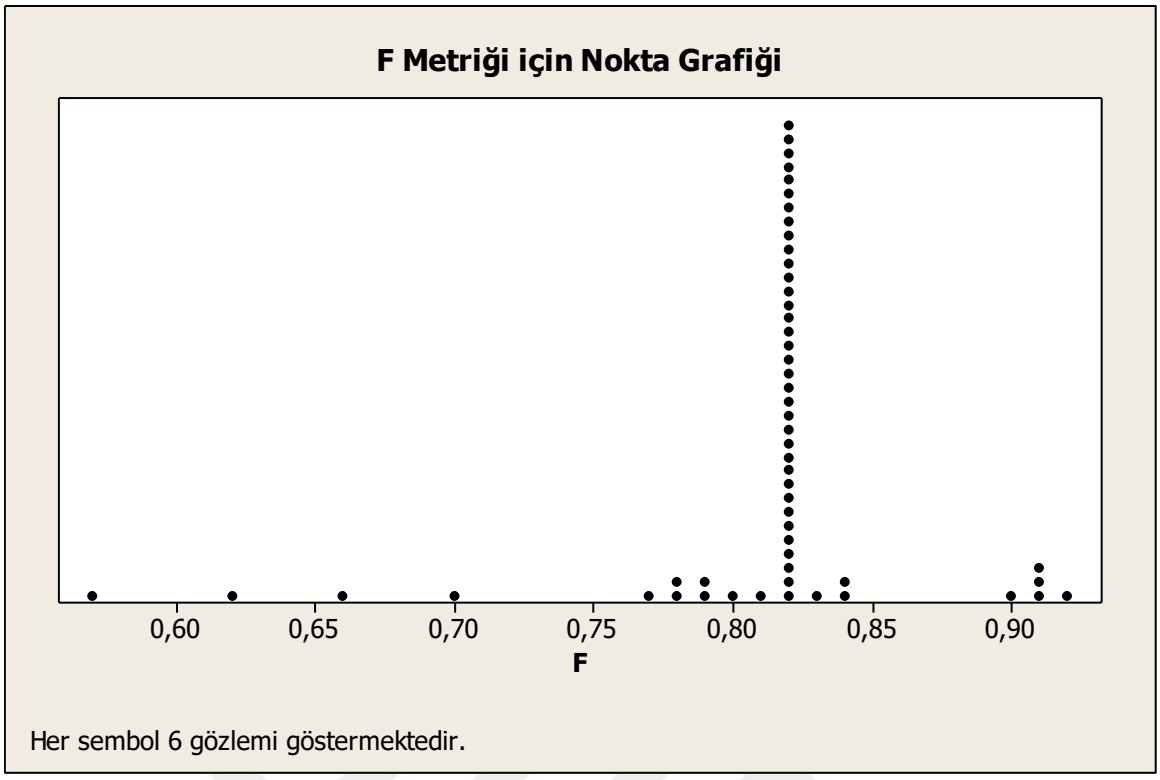
Korelasyon analizinden sonra seçilen metrikler için nokta grafikleri çizilmiştir (Şekil 9-Şekil 14) . Şekil 9'da görüleceği üzere bu metrik türü için bazı uç değerler söz konusudur. Uç değerlerin risk sıralaması aşamasında diğer hata türlerinin değerlerini büyük oranda etkileyebileceği düşünüldüğünden, bunlar veri setinden çıkarılmış ve ayrı olarak değerlendirilmiştir. Bu hata türleri Tablo 23'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Uç değerlerin hatalar arası geçen zamanın ortalaması metriğinde aldığı değer çok yüksek olduğu için ilk önce değerlendirilecek hata türlerinin arasına alınılması düşünülmüştür. Bu yüzden yapılan risk önceliklendirme adımları 260 hata türü üzerinden yapılmıştır.



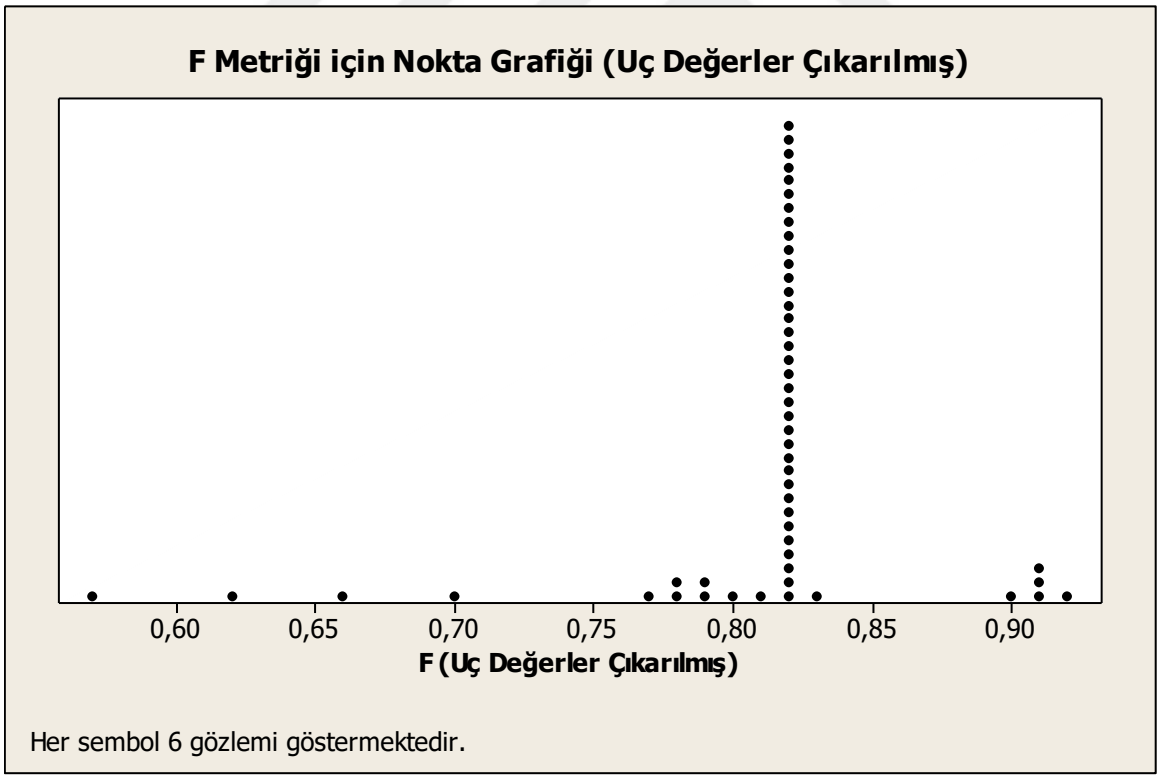

**Şekil 9. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması için Nokta Grafiği**



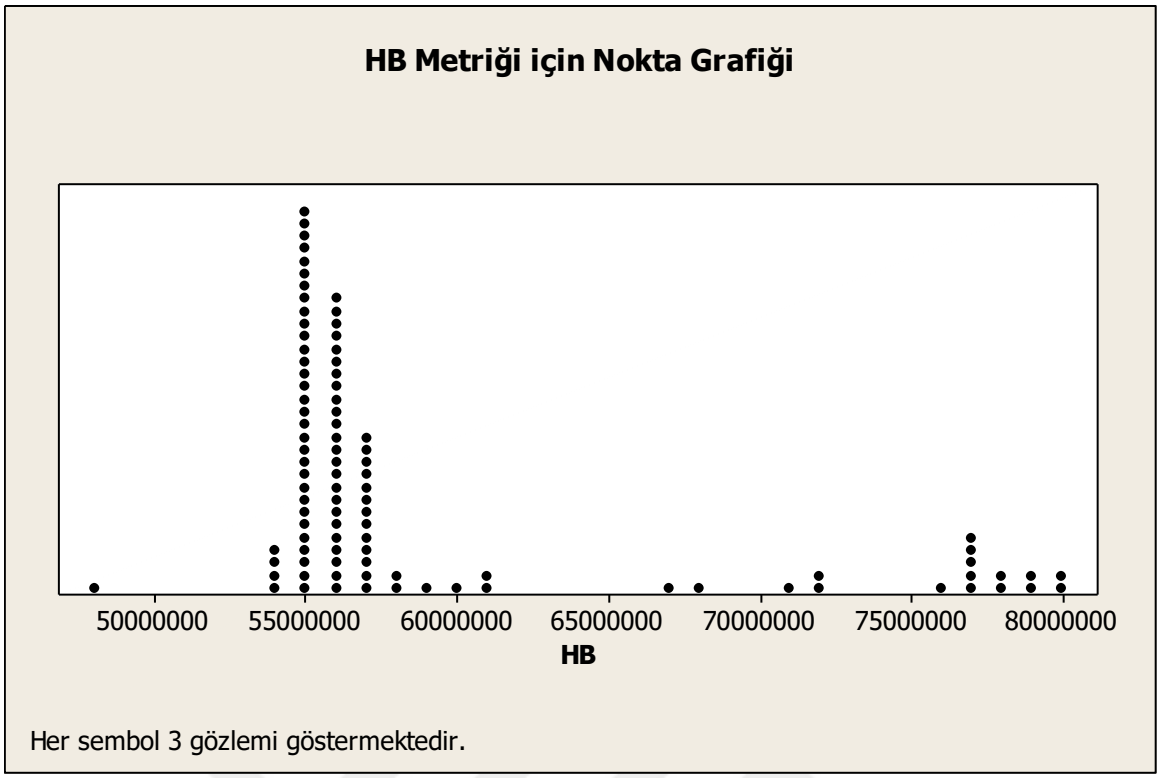

**Şekil 10. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması için Nokta Grafiği (Uç Değerler Çıkarılmış)**



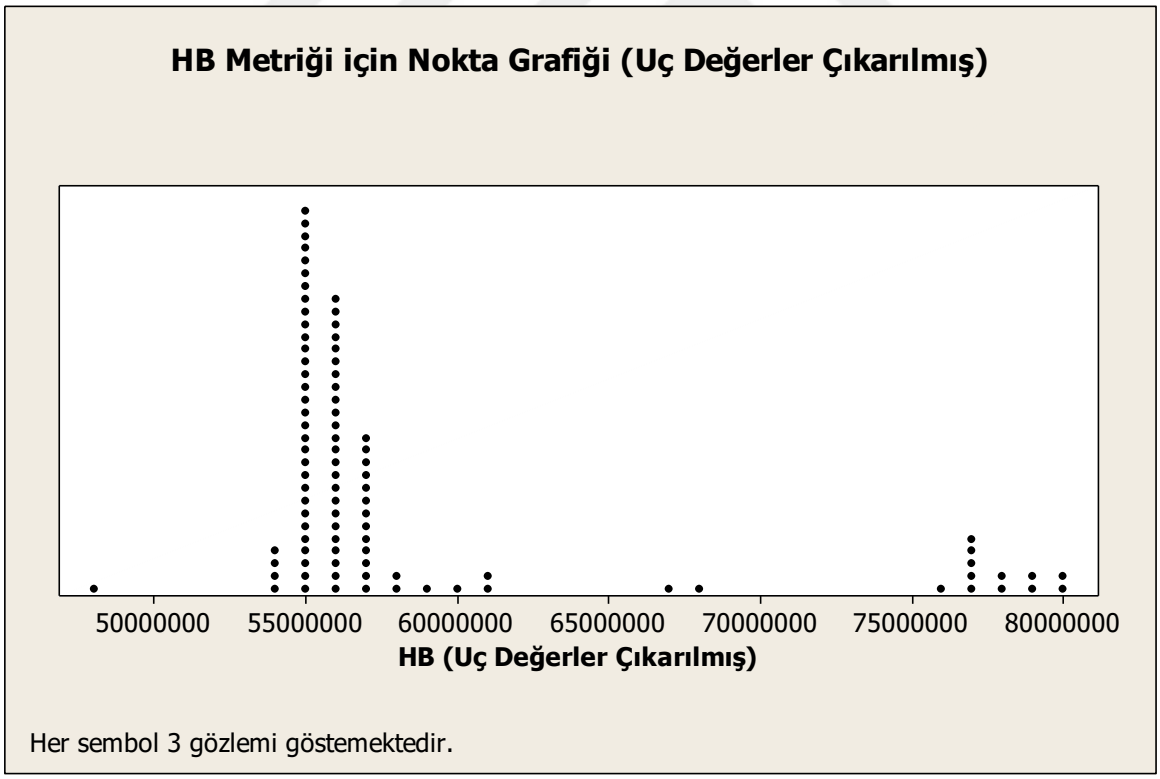

**Şekil 11. Frekans için Nokta Grafiği**




**Şekil 12. Frekans için Nokta Grafiği (Uç Değerler Çıkarılmış)**




**Şekil 13. Hataların Birlikteliği için Nokta Grafiği**




**Şekil 14. Hataların Birlikteliği için Nokta Grafiği (Uç Değerler Çıkarılmış)**

### 5.4.1. Objektif Metrik Ağırlıkları için Entropi Yöntemi

Metriklerin entropi yöntemi ile ağırlıklandırılması için öncelikle satırları hata türlerinden sütunları ise metriklerden oluşan bir karar matris oluşturulmuştur. Karar matrisinin oluşturulmasının ardından değerler bölüm 4.1.1'de ki formül vasıtasıyla normalize edilmiştir. Normalize edilmiş değerler entropi hesaplanması için kullanılmış ve sonuç olarak Tablo 6'da ki birinci satırdaki değerler elde edilmiştir.

**Tablo 6. Objektif Metrik Ağırlık Değerleri**

| | HAZO | F | HB |
|---|---|---|---|
| $e_j$ | 0,995004639 | 0,999788577 | 0,998729765 |
| $1 - e_j$ | 0,004995361 | 0,000211423 | 0,001270235 |
| Ağırlıklar | 0,771243814 | 0,032642032 | 0,196114154 |

Elde edilen entropi değerlerinin birden çıkarılması ile Tablo 6'nın ikinci satır değerleri elde edilmiş ve son olarak bu değerlerin ayrı ayrı toplam değerlere bölünerek entropi yöntemi ile elde edilmiş objektif ağırlık değerleri elde edilmiştir. Elde edilen objektif metrik değerleri Tablo 6'nın son satırında verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere entropi işlemi sonrasında HAZO metriği hata türlerinin sıraları üzerinde %77 ile en büyük etkiye sahiptir. Ardından %19,6 ile HB metriği takip etmektedir. Son olarak sıralama üzerinde F metriği en düşük etki ile %3'lük bir etki sağlamaktadır.

## 5.5. Farklı Metotlar ile Bilgisayar Veri Günlüğüne HTEA Uygulamaları

Daha önceki literatür çalışmalarında da görüldüğü üzere, HTEA yönteminin geliştirilmesi amacıyla HTEA bir çok yöntemle birlikte kullanılmıştır. İlerleyen bölümlerde, veri günlükleri ve veri tabanlı süreçler için geliştirilmiş HTEA'nın, bu çalışmada farklı yöntemleri ile çözümü sunulacaktır.

### 5.5.1. Geleneksel HTEA Tabanlı Alternatif Yöntem ve Uygulaması

Alternatif yönteme göre 3 metriğin elde edilmesinden sonra hata türlerinin metriklerde aldığı 260 değer eşit aralıklı ve eşit frekanslı veri ayrıklaştırma metotlarına göre 10 gruba ayrıklaştırılmıştır. 10 gruba ayrıklaştırılma nedeni ise geleneksel yöntemlerdeki 1 den 10'a kadar verilen metrik değerleridir. Veri ayrıklaştırma adımında verileri özellik olarak daha yakın olduğu gruba dahil etmek için Bölüm 4.2'de anlatılan metot yardımıyla tekrar bir veri ayrıklaştırma süreci uygulanmıştır. Bahsedilen veri ayrıklaştırma sürecinde 4 farklı metot (eşit frekanslı, eşit frekanslı – yinelemeli, eşit aralıklı, eşit aralıklı - yinelemeli) için grup

sayıları Tablo 7 - Tablo 9'daki gibi elde edilmiştir. Ayrıca yinelemeli yöntemlerdeki her bir iterasyon sonrasındaki grupların eleman sayıları Ek B'de detaylı olarak görülebilir.

**Tablo 7. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması için Ayrıklaştırılmış Verilerin Dağılımı**

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eşit Frekanslı | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Eşit Frekanslı - Yinelemeli | 6 | 11 | 12 | 32 | 60 | 66 | 42 | 3 | 5 | 23 |
| Eşit Aralıklı | 23 | 0 | 9 | 220 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 |
| Eşit Aralıklı - Yinelemeli | 23 | 0 | 7 | 212 | 11 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 |

**Tablo 8. Frekans için Ayrıklaştırılmış Verilerin Dağılımı**

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eşit Frekanslı | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Eşit Frekanslı - Yinelemeli | 6 | 18 | 2 | 8 | 37 | 115 | 45 | 4 | 3 | 23 |
| Eşit Aralıklı | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 3 | 16 | 212 | 0 | 23 |
| Eşit Aralıklı - Yinelemeli | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 3 | 16 | 212 | 0 | 23 |

**Tablo 9. Hataların Birlikteliği için Ayrıklaştırılmış Verilerin Dağılımı**

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eşit Frekanslı | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| Eşit Frekanslı - Yinelemeli | 2 | 56 | 19 | 36 | 24 | 58 | 26 | 7 | 3 | 30 |
| Eşit Aralıklı | 1 | 60 | 156 | 7 | 3 | 2 | 1 | 0 | 9 | 21 |
| Eşit Aralıklı - Yinelemeli | 1 | 108 | 85 | 26 | 7 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |

Yapılan veri ayrıklaştırma işlemi sonrasında metriklerin değerleri bölüm 5.4.1'de elde edilen ağırlık değerleri ile çarpılarak metriklerin ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Ardından RÖS elde edilmiştir. Geleneksel yöntemlerle hesaplanan RÖS yerine metrik değerlerinin karelerinin toplanması tercih edilmiştir. Bu yöntemin nedeni Bölüm 4.2'de detaylı olarak açıklanmıştır. Bu işlem sonucu hata türlerinin risk sıralaması Tablo 10'daki gibi olmuştur. Bu yöntem ile elde edilmiş ve diğer yöntemler ile elde edilmiş sıralamalar ve RÖS değerleri Ek C'de görülebilir.

**Tablo 10. Geliştirilen Yönteme göre Hata Türlerinin Risk Sıralaması**

(R.S. = Risk Sıralaması, H.T. = Hata Türü)

| R.S.[1] | H.T.[2] | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 23002596 | 53 | 603726 | 105 | 603751 | 157 | 603613 | 209 | 603665 |
| 2 | 23002597 | 54 | 603786 | 106 | 603752 | 158 | 603614 | 210 | 603666 |
| 3 | 23102605 | 55 | 603788 | 107 | 603753 | 159 | 603615 | 211 | 603667 |
| 4 | 23102606 | 56 | 603789 | 108 | 603754 | 160 | 603616 | 212 | 603668 |
| 5 | 12001849 | 57 | 603791 | 109 | 603755 | 161 | 603617 | 213 | 603669 |
| 6 | 11601816 | 58 | 603793 | 110 | 603756 | 162 | 603618 | 214 | 603670 |
| 7 | 11601817 | 59 | 603795 | 111 | 603757 | 163 | 603619 | 215 | 603671 |
| 8 | 4301020 | 60 | 603797 | 112 | 603758 | 164 | 603620 | 216 | 603672 |
| 9 | 4601113 | 61 | 603798 | 113 | 603759 | 165 | 603621 | 217 | 603673 |
| 10 | 4701137 | 62 | 2803991 | 114 | 603760 | 166 | 603622 | 218 | 603674 |
| 11 | 5001216 | 63 | 603594 | 115 | 603761 | 167 | 603623 | 219 | 603675 |
| 12 | 5001219 | 64 | 603595 | 116 | 603762 | 168 | 603624 | 220 | 603676 |
| 13 | 1200109 | 65 | 603596 | 117 | 603763 | 169 | 603625 | 221 | 603677 |
| 14 | 1200134 | 66 | 603597 | 118 | 603764 | 170 | 603626 | 222 | 603678 |
| 15 | 1200138 | 67 | 603598 | 119 | 603765 | 171 | 603627 | 223 | 603679 |
| 16 | 1200139 | 68 | 603599 | 120 | 603766 | 172 | 603628 | 224 | 603680 |
| 17 | 1300144 | 69 | 603600 | 121 | 603767 | 173 | 603629 | 225 | 603683 |
| 18 | 1300171 | 70 | 603601 | 122 | 603768 | 174 | 603630 | 226 | 603684 |
| 19 | 1300172 | 71 | 603602 | 123 | 603769 | 175 | 603631 | 227 | 603685 |
| 20 | 1300784 | 72 | 603603 | 124 | 603770 | 176 | 603632 | 228 | 603686 |
| 21 | 1302294 | 73 | 603681 | 125 | 603771 | 177 | 603633 | 229 | 603687 |
| 22 | 1000059 | 74 | 603682 | 126 | 603772 | 178 | 603634 | 230 | 603688 |
| 23 | 1100069 | 75 | 603692 | 127 | 603773 | 179 | 603635 | 231 | 603689 |
| 24 | 23703999 | 76 | 603693 | 128 | 603774 | 180 | 603636 | 232 | 603690 |
| 25 | 25204012 | 77 | 603694 | 129 | 603775 | 181 | 603637 | 233 | 603695 |
| 26 | 21903998 | 78 | 603697 | 130 | 603776 | 182 | 603638 | 234 | 603696 |
| 27 | 22003995 | 79 | 603701 | 131 | 603777 | 183 | 603639 | 235 | 603719 |
| 28 | 22103997 | 80 | 603702 | 132 | 603778 | 184 | 603640 | 236 | 603721 |
| 29 | 22904001 | 81 | 603703 | 133 | 603779 | 185 | 603641 | 237 | 603728 |
| 30 | 23303369 | 82 | 603706 | 134 | 603780 | 186 | 603642 | 238 | 603729 |
| 31 | 23804000 | 83 | 603707 | 135 | 603781 | 187 | 603643 | 239 | 603730 |
| 32 | 23903996 | 84 | 603708 | 136 | 603782 | 188 | 603644 | 240 | 603731 |
| 33 | 21804005 | 85 | 603709 | 137 | 603783 | 189 | 603645 | 241 | 603732 |
| 34 | 21904029 | 86 | 603710 | 138 | 603784 | 190 | 603646 | 242 | 603733 |
| 35 | 22004008 | 87 | 603711 | 139 | 603785 | 191 | 603647 | 243 | 603734 |
| 36 | 22104017 | 88 | 603712 | 140 | 603787 | 192 | 603648 | 244 | 603735 |
| 37 | 22204002 | 89 | 603713 | 141 | 603790 | 193 | 603649 | 245 | 603736 |
| 38 | 22704018 | 90 | 603714 | 142 | 603792 | 194 | 603650 | 246 | 603737 |
| 39 | 22904040 | 91 | 603715 | 143 | 603794 | 195 | 603651 | 247 | 603738 |
| 40 | 23202615 | 92 | 603716 | 144 | 603796 | 196 | 603652 | 248 | 603739 |
| 41 | 23202616 | 93 | 603717 | 145 | 603799 | 197 | 603653 | 249 | 603740 |
| 42 | 23704038 | 94 | 603718 | 146 | 603591 | 198 | 603654 | 250 | 603747 |
| 43 | 23804039 | 95 | 603725 | 147 | 603592 | 199 | 603655 | 251 | 603700 |
| 44 | 23904015 | 96 | 603741 | 148 | 603604 | 200 | 603656 | 252 | 603727 |
| 45 | 24104009 | 97 | 603742 | 149 | 603605 | 201 | 603657 | 253 | 2404014 |
| 46 | 24204020 | 98 | 603743 | 150 | 603606 | 202 | 603658 | 254 | 603593 |
| 47 | 24904011 | 99 | 603744 | 151 | 603607 | 203 | 603659 | 255 | 700020 |
| 48 | 25004013 | 100 | 603745 | 152 | 603608 | 204 | 603660 | 256 | 700021 |
| 49 | 23604006 | 101 | 603746 | 153 | 603609 | 205 | 603661 | 257 | 4200980 |
| 50 | 603589 | 102 | 603748 | 154 | 603610 | 206 | 603662 | 258 | 4200999 |
| 51 | 603590 | 103 | 603749 | 155 | 603611 | 207 | 603663 | 259 | 704024 |
| 52 | 603698 | 104 | 603750 | 156 | 603612 | 208 | 603664 | 260 | 800035 |

### 5.5.2. GİA Metodu ile HTEA Uygulaması

HAZO, HF ve HB metrikleri için gri ilişkisel analizi uygulanmıştır. Öncelikle 260 satır ve 3 sütundan oluşan bir karar matrisi elde edilmiş, 3 risk metriğinin değerlerini gösterecek şekilde düzenlenmiştir. Karar matrisinin sütunlarını oluşturan metrikler sırasıyla HAZO, HF ve HB'dir. Bu çalışmanın temel amacı öncelikle ilgilenilecek arıza türlerini bulmak olduğu için sıralamada çok riskli durumdan az riskli duruma doğru bir sıralama yapılacaktır. HF ve HB metrikleri için büyük değerler yüksek riski gösterirken, HAZO metriği için düşük değerler yüksek riski göstermektedir. Dolayısıyla HAZO risk metriğinin çarpma işlemine göre tersi alınmış ve bu sayede metriklerin yönü arasında uyumlulaştırılmıştır. Bu yapılan ters dönüşüm işlemi sonucu HAZO metriği 0,28 ile 0,05 arasında değerler almakta, HF risk metriği 0,92 ile 0,57 arasında ve HB metriği 80.346.011 ile 48.384.067 arasında değerler almıştır.

Karar matrisi oluşturulması aşamasından sonra referans veri setinin oluşumu için, bütün metrikler homojen olup büyük değerler tercih edildiği için bir önceki paragrafta bahsedilen metriklerin büyük değerleri referans veri seti olarak alınmıştır. Bu işlem sonucunda referans veri seti aşağıdaki şekilde olmuştur.

$$x_0 = (0{,}28;\ 0{,}92;\ 80.346.011)$$

Elde edilen referans veri seti karar matrisinin ilk satırına eklenerek 261 satır ve 3 sütundan oluşan karar matrisi elde edilmiştir. Referans veri setinin oluşturulmasından sonra elde edilen metrik değerlerini aynı aralığa taşımak için normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen normalizasyon işlemi sonucunda referans seri değerleri 1 değerini alırken diğer hata türü değerinin referans seriye olan yakınlıklarına göre değerler aldığı görülmüştür.

Elde edilen normalize edilmiş karar matrisinde tüm hata türleri referans seriden çıkarılıp mutlak değeri alınarak mutlak değer tablosu oluşturulmuştur.

Ardından Bölüm 4.3'de bahsedilen gri ilişkisel katsayı denklemi kullanılarak her bir hata türü metriği için bir katsayı elde edilmiştir. Son olarak her bir metrik değeri entropi yöntemi ile elde edilmiş ağırlık değerleri ile çarpılarak metriklerin ağırlıklandırılması sağlanmıştır. Verilen ağılıkların sonucunda elde edilen sıralama

Tablo 11'de gösterilmektedir. Ayrıca diğer yöntemler ile karşılaştırmalı sonuçları ve GİA ile elde edilmiş RÖS değerleri Ek C'de görülebilir.

**Tablo 11. Gri İlişkisel Analizine göre Hata Türlerinin Risk Sıralaması**

(R.S.[1] = Risk Sıralaması, H.T.[2] = Hata Türü)

| R.S.[1] | H.T.[2] | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11601817 | 53 | 603784 | 105 | 603750 | 157 | 603610 | 209 | 603611 |
| 2 | 11601816 | 54 | 603790 | 106 | 603590 | 158 | 603606 | 210 | 603631 |
| 3 | 12001849 | 55 | 603698 | 107 | 603685 | 159 | 603609 | 211 | 603624 |
| 4 | 23102605 | 56 | 603702 | 108 | 603761 | 160 | 603672 | 212 | 603646 |
| 5 | 23102606 | 57 | 603782 | 109 | 603767 | 161 | 603734 | 213 | 603730 |
| 6 | 23002597 | 58 | 23604006 | 110 | 603741 | 162 | 603666 | 214 | 603659 |
| 7 | 23002596 | 59 | 603764 | 111 | 603715 | 163 | 603658 | 215 | 603633 |
| 8 | 5001216 | 60 | 603709 | 112 | 603731 | 164 | 603598 | 216 | 603689 |
| 9 | 5001219 | 61 | 603770 | 113 | 603751 | 165 | 603663 | 217 | 603653 |
| 10 | 4701137 | 62 | 603786 | 114 | 603713 | 166 | 603635 | 218 | 603626 |
| 11 | 4601113 | 63 | 603771 | 115 | 603772 | 167 | 603733 | 219 | 603654 |
| 12 | 4301020 | 64 | 603714 | 116 | 603692 | 168 | 603655 | 220 | 603638 |
| 13 | 1200138 | 65 | 603708 | 117 | 603716 | 169 | 603616 | 221 | 603623 |
| 14 | 1200134 | 66 | 603779 | 118 | 603757 | 170 | 603664 | 222 | 603661 |
| 15 | 1300171 | 67 | 603783 | 119 | 603743 | 171 | 603651 | 223 | 603667 |
| 16 | 1100069 | 68 | 603701 | 120 | 603718 | 172 | 603687 | 224 | 603636 |
| 17 | 1000059 | 69 | 603791 | 121 | 603706 | 173 | 603640 | 225 | 603614 |
| 18 | 1300144 | 70 | 603726 | 122 | 603681 | 174 | 603641 | 226 | 603620 |
| 19 | 1300172 | 71 | 603773 | 123 | 603605 | 175 | 603618 | 227 | 603683 |
| 20 | 1302294 | 72 | 603788 | 124 | 603753 | 176 | 603642 | 228 | 603615 |
| 21 | 1200109 | 73 | 603776 | 125 | 603763 | 177 | 603645 | 229 | 603637 |
| 22 | 1200139 | 74 | 603711 | 126 | 603797 | 178 | 603629 | 230 | 603678 |
| 23 | 1300784 | 75 | 603758 | 127 | 603597 | 179 | 603619 | 231 | 603632 |
| 24 | 25204012 | 76 | 603798 | 128 | 603717 | 180 | 603674 | 232 | 603622 |
| 25 | 22003995 | 77 | 603710 | 129 | 603604 | 181 | 603673 | 233 | 603634 |
| 26 | 22904001 | 78 | 603781 | 130 | 603760 | 182 | 603677 | 234 | 603729 |
| 27 | 21903998 | 79 | 603789 | 131 | 603607 | 183 | 603660 | 235 | 603680 |
| 28 | 22103997 | 80 | 603775 | 132 | 603592 | 184 | 603676 | 236 | 603652 |
| 29 | 23703999 | 81 | 603759 | 133 | 603595 | 185 | 603617 | 237 | 603684 |
| 30 | 23303369 | 82 | 603707 | 134 | 603603 | 186 | 603679 | 238 | 603644 |
| 31 | 22204002 | 83 | 603769 | 135 | 603735 | 187 | 603625 | 239 | 25004013 |
| 32 | 23903996 | 84 | 603712 | 136 | 603736 | 188 | 603657 | 240 | 24904011 |
| 33 | 23202616 | 85 | 603793 | 137 | 603747 | 189 | 603695 | 241 | 23704038 |
| 34 | 23804000 | 86 | 603795 | 138 | 603756 | 190 | 603647 | 242 | 24104009 |
| 35 | 23202615 | 87 | 603762 | 139 | 603755 | 191 | 603688 | 243 | 24204020 |
| 36 | 22004008 | 88 | 603766 | 140 | 603602 | 192 | 603627 | 244 | 23904015 |
| 37 | 21804005 | 89 | 603589 | 141 | 603740 | 193 | 603630 | 245 | 603721 |
| 38 | 21904029 | 90 | 603703 | 142 | 603594 | 194 | 603675 | 246 | 23804039 |
| 39 | 22904040 | 91 | 603694 | 143 | 603686 | 195 | 603670 | 247 | 603696 |
| 40 | 22104017 | 92 | 603768 | 144 | 603739 | 196 | 603671 | 248 | 603719 |
| 41 | 22704018 | 93 | 603749 | 145 | 603600 | 197 | 603612 | 249 | 603591 |
| 42 | 2803991 | 94 | 603693 | 146 | 603596 | 198 | 603665 | 250 | 603697 |
| 43 | 603799 | 95 | 603744 | 147 | 603668 | 199 | 603662 | 251 | 603727 |
| 44 | 603796 | 96 | 603742 | 148 | 603754 | 200 | 603669 | 252 | 2404014 |
| 45 | 603794 | 97 | 603682 | 149 | 603732 | 201 | 603690 | 253 | 603700 |
| 46 | 603792 | 98 | 603752 | 150 | 603639 | 202 | 603621 | 254 | 603593 |
| 47 | 603777 | 99 | 603745 | 151 | 603656 | 203 | 603728 | 255 | 700020 |
| 48 | 603725 | 100 | 603765 | 152 | 603608 | 204 | 603648 | 256 | 700021 |
| 49 | 603778 | 101 | 603748 | 153 | 603601 | 205 | 603650 | 257 | 4200999 |
| 50 | 603785 | 102 | 603738 | 154 | 603613 | 206 | 603649 | 258 | 4200980 |
| 51 | 603787 | 103 | 603774 | 155 | 603746 | 207 | 603643 | 259 | 704024 |
| 52 | 603780 | 104 | 603737 | 156 | 603599 | 208 | 603628 | 260 | 800035 |

### 5.5.3. TOPSIS Metodu ile HTEA Uygulaması

Risk sıralamasından önceki işlemler Bölüm 5.2'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bahsedilen işlemlerden sonra TOPSIS metodu ile risk sıralaması yapabilmek için ilk adım karar matrisinin oluşturulmasıdır. Karar matrisinin satırları 260 farklı hata türünden, sütunları ise 3 farklı risk metriğinden oluşmuştur. Bu sayede 260x3 boyutunda bir karar matrisi elde edilmiştir.

Normalizasyon matrisini elde etmek için her bir risk metriği skoru o metrik türündeki bütün değerlerin karelerinin toplamının karekköküne bölünerek normalize edilmiştir. Bu işlem sonucunda tüm değerler 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Burada HAZO metriğinin diğer metotlarda olduğu gibi çarpmaya göre tersi alınarak büyük değerlerin daha riskli olduğu bir skor sistemi elde edilmiştir.

Yine bu yöntem için entropi yöntemi ile elde edilmiş ağırlık değerleri ile çarpılarak metriklerin ağırlıklandırılması sağlanmıştır.

İdeal ve negatif ideal çözümler için ağırlıklandırılmış normalize matrisin her bir sütununun en büyük ve en küçük değerleri bulunmuştur. Bu işlem sonucunda ideal çözüm için değerler,

$$A^{*} = [0{,}002254812;\ 0{,}016572938;\ 0{,}106517695]$$

negatif ideal çözüm için değerler,

$$A^{-} = [0{,}001402685;\ 0{,}009980161;\ 0{,}017195536]$$

olmuştur.

Ardından tüm hata türlerinin bu iki noktaya olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Sonuç olarak her hata türü için ideal çözüm ve negatif ideal çözüm için iki uzaklık hesaplanmıştır. Son olarak bu iki uzaklık değeri Bölüm 4.4'te bulunan yakınlık hesaplama formülü yardımıyla $C_i^*$ değerlerine dönüştürülerek sıralama işlemi için gerekli verilerin elde edilmesi sağlanmıştır. Bu metot ile yapılan risk sıralaması sonuçları Tablo 12'den, diğer metotlar ile karşılaştırmalı sonuçları ve TOPSIS yöntemi ile elde edilmiş RÖS değerleri Ek C'de görülebilir.

**Tablo 12. TOPSIS Metoduna göre Hata Türlerinin Risk Sıralaması**

(R.S.[1] = Risk Sıralaması, H.T.[2] = Hata Türü)

| R.S.[1] | H.T.[2] | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 23102605 | 53 | 603794 | 105 | 603590 | 157 | 603639 | 209 | 603669 |
| 2 | 23102606 | 54 | 603792 | 106 | 603765 | 158 | 603608 | 210 | 603728 |
| 3 | 12001849 | 55 | 603725 | 107 | 603752 | 159 | 603656 | 211 | 603648 |
| 4 | 11601817 | 56 | 603777 | 108 | 603745 | 160 | 603746 | 212 | 603650 |
| 5 | 11601816 | 57 | 603785 | 109 | 603748 | 161 | 603601 | 213 | 603611 |
| 6 | 23002597 | 58 | 603778 | 110 | 603774 | 162 | 603613 | 214 | 603649 |
| 7 | 23002596 | 59 | 603787 | 111 | 603750 | 163 | 603599 | 215 | 603628 |
| 8 | 5001216 | 60 | 603698 | 112 | 603738 | 164 | 603610 | 216 | 603643 |
| 9 | 5001219 | 61 | 603780 | 113 | 603737 | 165 | 603606 | 217 | 603730 |
| 10 | 4701137 | 62 | 603790 | 114 | 603767 | 166 | 603609 | 218 | 603624 |
| 11 | 4601113 | 63 | 603784 | 115 | 603692 | 167 | 603598 | 219 | 603631 |
| 12 | 4301020 | 64 | 603702 | 116 | 603761 | 168 | 603734 | 220 | 603646 |
| 13 | 1300171 | 65 | 603782 | 117 | 603713 | 169 | 603672 | 221 | 603689 |
| 14 | 1200138 | 66 | 603764 | 118 | 603741 | 170 | 603666 | 222 | 603659 |
| 15 | 1200134 | 67 | 603709 | 119 | 603715 | 171 | 603733 | 223 | 603633 |
| 16 | 1300144 | 68 | 603786 | 120 | 603685 | 172 | 603616 | 224 | 603653 |
| 17 | 1100069 | 69 | 603770 | 121 | 603751 | 173 | 603658 | 225 | 603626 |
| 18 | 1300172 | 70 | 603791 | 122 | 603772 | 174 | 603663 | 226 | 603654 |
| 19 | 1302294 | 71 | 603714 | 123 | 603716 | 175 | 603655 | 227 | 603623 |
| 20 | 1000059 | 72 | 603783 | 124 | 603731 | 176 | 603635 | 228 | 603638 |
| 21 | 1200139 | 73 | 603708 | 125 | 603706 | 177 | 603664 | 229 | 603614 |
| 22 | 1300784 | 74 | 603771 | 126 | 603743 | 178 | 603687 | 230 | 603661 |
| 23 | 1200109 | 75 | 603779 | 127 | 603757 | 179 | 603651 | 231 | 603667 |
| 24 | 25204012 | 76 | 603726 | 128 | 603718 | 180 | 603618 | 232 | 603620 |
| 25 | 22003995 | 77 | 603788 | 129 | 603797 | 181 | 603640 | 233 | 603615 |
| 26 | 22904001 | 78 | 603798 | 130 | 603681 | 182 | 603641 | 234 | 603636 |
| 27 | 21903998 | 79 | 603701 | 131 | 603763 | 183 | 603642 | 235 | 603683 |
| 28 | 22103997 | 80 | 603776 | 132 | 603753 | 184 | 603645 | 236 | 603637 |
| 29 | 23703999 | 81 | 603711 | 133 | 603605 | 185 | 603629 | 237 | 603678 |
| 30 | 23303369 | 82 | 603773 | 134 | 603717 | 186 | 603619 | 238 | 603622 |
| 31 | 23903996 | 83 | 603758 | 135 | 603597 | 187 | 603674 | 239 | 603632 |
| 32 | 22204002 | 84 | 603789 | 136 | 603760 | 188 | 603673 | 240 | 603634 |
| 33 | 23804000 | 85 | 603710 | 137 | 603604 | 189 | 603617 | 241 | 603729 |
| 34 | 23202616 | 86 | 603781 | 138 | 603607 | 190 | 603677 | 242 | 603680 |
| 35 | 23202615 | 87 | 603793 | 139 | 603592 | 191 | 603660 | 243 | 603652 |
| 36 | 22004008 | 88 | 603795 | 140 | 603595 | 192 | 603676 | 244 | 603684 |
| 37 | 21804005 | 89 | 603775 | 141 | 603603 | 193 | 603679 | 245 | 603644 |
| 38 | 22904040 | 90 | 603759 | 142 | 603735 | 194 | 603695 | 246 | 603721 |
| 39 | 22104017 | 91 | 603707 | 143 | 603736 | 195 | 603625 | 247 | 603696 |
| 40 | 21904029 | 92 | 603712 | 144 | 603747 | 196 | 603657 | 248 | 603719 |
| 41 | 22704018 | 93 | 603769 | 145 | 603756 | 197 | 603647 | 249 | 603591 |
| 42 | 23604006 | 94 | 603589 | 146 | 603755 | 198 | 603688 | 250 | 603697 |
| 43 | 25004013 | 95 | 603762 | 147 | 603602 | 199 | 603627 | 251 | 603700 |
| 44 | 24904011 | 96 | 603766 | 148 | 603740 | 200 | 603630 | 252 | 603727 |
| 45 | 24104009 | 97 | 603694 | 149 | 603594 | 201 | 603612 | 253 | 2404014 |
| 46 | 24204020 | 98 | 603703 | 150 | 603600 | 202 | 603675 | 254 | 603593 |
| 47 | 23904015 | 99 | 603768 | 151 | 603596 | 203 | 603670 | 255 | 700020 |
| 48 | 23704038 | 100 | 603693 | 152 | 603686 | 204 | 603671 | 256 | 700021 |
| 49 | 23804039 | 101 | 603749 | 153 | 603739 | 205 | 603665 | 257 | 4200999 |
| 50 | 2803991 | 102 | 603744 | 154 | 603754 | 206 | 603662 | 258 | 4200980 |
| 51 | 603799 | 103 | 603682 | 155 | 603668 | 207 | 603690 | 259 | 704024 |
| 52 | 603796 | 104 | 603742 | 156 | 603732 | 208 | 603621 | 260 | 800035 |

### 5.5.4. VIKOR Metodu ile HTEA Uygulaması

Diğer metotlar da olduğu gibi VIKOR metodu da Bölüm 5.2'teki işlemlerden sonra uygulanmıştır. Adımlara başlamadan önce 260 satır ve 3 sütundan oluşan karar matrisi ele alınmıştır. Ardından VIKOR metodu uygulanmaya başlanmıştır. Öncelikle her bir metrik türü için en iyi ve en kötü değerler hesaplanmıştır. Burada, diğer metotlarda olduğu gibi HAZO metriğinin tersi alınarak bu metrik türü de diğer metrik türlerinde olduğu gibi büyük değerlerin riskli olduğu duruma dönüştürülmüştür. Öncelikle her metrik türü için en iyi ve en kötü değerler hesaplanmış, sonuçlar Tablo 13'te gösterilmiştir.

**Tablo 13: VIKOR Metodu için En İyi ve En Kötü Metrik Değerleri**

| | F | HB | HAZO |
|---|---|---|---|
| En iyi değerler | 0,91593 | 80.346.011 | 0,27684 |
| En kötü değerler | 0,56978 | 48.384.067 | 0,04469 |

En iyi ve en kötü değerlerin hesaplanmasının ardından bu değerler ve karar matrisindeki değerler yardımıyla normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve normalizasyon matrisi elde edilmiştir.

Normalizasyon adımından sonra matrisin ağırlıklandırılması için her bir metrik değerinin eşit öneme sahip olduğu düşünülmüş ve normalize edilmiş matrisin değerleri entropi yöntemi ile elde edilmiş ağırlık değerleri ile çarpılarak ağırlıklandırma adımı gerçekleştirilmiştir. Ardından her bir hata türü için ortalama ($S_i$) ve en kötü ($R_i$) grup skorları hesaplanmıştır. Ortalama grup skorları hesaplanırken her bir hata türünün üç metrikten aldığı değerler toplanmış, en kötü grup skoru için ise hata türünün üç metrik türünde en yüksek aldığı skor değeri kullanılmıştır.

$Q_i$ değerlerinin hesaplanması için gereken $S^*$, $S^-$, $R^*$ ve $R^-$ parametreleri Bölüm 4.5'teki denklemler yardımıyla hesaplanmıştır. Devam eden aşamada farklı $q$ değerleri (0; 0,25; 0,50; 0,75 ve 1,00) için $Q_i$ değerleri hesaplanmıştır. Son adımda $Q$ değerlerine bağlı bir sıralama elde edilmiştir. Bu metot ile yapılan risk sıralaması sonuçları Tablo 14'ten, diğer metotlar ile karşılaştırmalı sonuçları ve VIKOR yöntemi ile elde edilmiş RÖS değerleri Ek C'den görülebilir.

**Tablo 14. VIKOR Metoduna göre Hata Türlerinin Risk Sıralaması**

(R.S.[1] = Risk Sıralaması, H.T.[2] = Hata Türü)

| R.S.[1] | H.T.[2] | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. | R.S. | H.T. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 23102605 | 53 | 603794 | 105 | 603797 | 157 | 603599 | 209 | 603671 |
| 2 | 23102606 | 54 | 603792 | 106 | 603774 | 158 | 603732 | 210 | 603665 |
| 3 | 12001849 | 55 | 603725 | 107 | 603748 | 159 | 603598 | 211 | 603624 |
| 4 | 11601817 | 56 | 603777 | 108 | 603744 | 160 | 603613 | 212 | 603662 |
| 5 | 11601816 | 57 | 603785 | 109 | 603713 | 161 | 603610 | 213 | 603628 |
| 6 | 23002597 | 58 | 603787 | 110 | 603742 | 162 | 603686 | 214 | 603669 |
| 7 | 23002596 | 59 | 603698 | 111 | 603750 | 163 | 603606 | 215 | 603614 |
| 8 | 5001216 | 60 | 603778 | 112 | 603767 | 164 | 603609 | 216 | 603623 |
| 9 | 5001219 | 61 | 603790 | 113 | 603706 | 165 | 603734 | 217 | 603689 |
| 10 | 4601113 | 62 | 603784 | 114 | 603692 | 166 | 603668 | 218 | 603648 |
| 11 | 4701137 | 63 | 603780 | 115 | 603715 | 167 | 603616 | 219 | 603615 |
| 12 | 4301020 | 64 | 603782 | 116 | 603752 | 168 | 603733 | 220 | 603650 |
| 13 | 1300171 | 65 | 603702 | 117 | 603751 | 169 | 603639 | 221 | 603626 |
| 14 | 1200138 | 66 | 603786 | 118 | 603745 | 170 | 603618 | 222 | 603631 |
| 15 | 1200134 | 67 | 603791 | 119 | 603772 | 171 | 603656 | 223 | 603649 |
| 16 | 1300144 | 68 | 603798 | 120 | 603718 | 172 | 603617 | 224 | 603643 |
| 17 | 1300172 | 69 | 603709 | 121 | 603761 | 173 | 603619 | 225 | 603620 |
| 18 | 1302294 | 70 | 603764 | 122 | 603716 | 174 | 603612 | 226 | 603633 |
| 19 | 1300784 | 71 | 603726 | 123 | 603741 | 175 | 603672 | 227 | 603659 |
| 20 | 1200139 | 72 | 603788 | 124 | 603681 | 176 | 603687 | 228 | 603653 |
| 21 | 1100069 | 73 | 603783 | 125 | 603763 | 177 | 603666 | 229 | 603646 |
| 22 | 1200109 | 74 | 603714 | 126 | 603757 | 178 | 603658 | 230 | 603654 |
| 23 | 1000059 | 75 | 603708 | 127 | 603738 | 179 | 603663 | 231 | 603638 |
| 24 | 25204012 | 76 | 603779 | 128 | 603737 | 180 | 603629 | 232 | 603661 |
| 25 | 22003995 | 77 | 603770 | 129 | 603743 | 181 | 603635 | 233 | 603622 |
| 26 | 22904001 | 78 | 603789 | 130 | 603717 | 182 | 603655 | 234 | 603667 |
| 27 | 21903998 | 79 | 603771 | 131 | 603731 | 183 | 603651 | 235 | 603636 |
| 28 | 22103997 | 80 | 603795 | 132 | 603753 | 184 | 603664 | 236 | 603683 |
| 29 | 23703999 | 81 | 603793 | 133 | 603605 | 185 | 603640 | 237 | 603678 |
| 30 | 23303369 | 82 | 603701 | 134 | 603597 | 186 | 603625 | 238 | 603729 |
| 31 | 22204002 | 83 | 603776 | 135 | 603685 | 187 | 603611 | 239 | 603632 |
| 32 | 23903996 | 84 | 603711 | 136 | 603760 | 188 | 603674 | 240 | 603637 |
| 33 | 23804000 | 85 | 603781 | 137 | 603595 | 189 | 603673 | 241 | 603634 |
| 34 | 23202616 | 86 | 603710 | 138 | 603604 | 190 | 603641 | 242 | 603680 |
| 35 | 23202615 | 87 | 603773 | 139 | 603756 | 191 | 603677 | 243 | 603652 |
| 36 | 22004008 | 88 | 603589 | 140 | 603607 | 192 | 603642 | 244 | 603684 |
| 37 | 21804005 | 89 | 603775 | 141 | 603603 | 193 | 603645 | 245 | 603644 |
| 38 | 22904040 | 90 | 603758 | 142 | 603592 | 194 | 603621 | 246 | 603721 |
| 39 | 21904029 | 91 | 603707 | 143 | 603755 | 195 | 603695 | 247 | 603696 |
| 40 | 22104017 | 92 | 603712 | 144 | 603594 | 196 | 603688 | 248 | 603719 |
| 41 | 22704018 | 93 | 603766 | 145 | 603747 | 197 | 603627 | 249 | 603591 |
| 42 | 23604006 | 94 | 603759 | 146 | 603735 | 198 | 603660 | 250 | 603697 |
| 43 | 25004013 | 95 | 603762 | 147 | 603736 | 199 | 603630 | 251 | 603700 |
| 44 | 24904011 | 96 | 603769 | 148 | 603602 | 200 | 603676 | 252 | 603727 |
| 45 | 24104009 | 97 | 603590 | 149 | 603596 | 201 | 603679 | 253 | 2404014 |
| 46 | 24204020 | 98 | 603694 | 150 | 603740 | 202 | 603728 | 254 | 603593 |
| 47 | 23904015 | 99 | 603703 | 151 | 603754 | 203 | 603657 | 255 | 700020 |
| 48 | 23704038 | 100 | 603693 | 152 | 603600 | 204 | 603647 | 256 | 700021 |
| 49 | 2803991 | 101 | 603768 | 153 | 603746 | 205 | 603690 | 257 | 4200999 |
| 50 | 23804039 | 102 | 603749 | 154 | 603739 | 206 | 603675 | 258 | 4200980 |
| 51 | 603799 | 103 | 603682 | 155 | 603601 | 207 | 603730 | 259 | 704024 |
| 52 | 603796 | 104 | 603765 | 156 | 603608 | 208 | 603670 | 260 | 800035 |

## 5.6. Uygulama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Önceki bölümlerde yapılan uygulamaları göz önünde bulunduracak olursak, hataların risk sıralamalarının belirlenmesi çok kriterli karar verme sürecidir. Birden fazla kriter (metrik) dikkate alınarak alternatiflerin (hata türleri) arasında bir sıralama amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda risk sıralaması yapılırken, literatürde bilinen GİA, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile birlikte literatürden bağımsız olarak geleneksel HTEA tabanlı alternatif bir yöntem ile risk sıralaması yapılmıştır.

Önceki bölümlerdeki sıralamalardan görüleceği üzere dört farklı yöntem ile yapılan risk sıralamalarında benzerlikler olabildiği gibi farklılıklar da bulunmaktadır. Tablo 15'te geleneksel HTEA tabanlı alternatif yöntemin ilk 20 sıralaması ve bu ilk 20 hata türünün diğer yöntemlerdeki risk sıralama değerleri verilmiştir. Burada ilk 20 hata türünü öncelikli olarak değerlendirilecek olursak, alternatif yöntem ile diğer ÇKKV yöntemlerinin ilk 20 risk sıralaması için 18 hata türü ortaktır. 4301020 ve 1200109 hata kodlu hata türleri diğer yöntemlerde daha düşük öncelik almış ve 1300784 hata kodlu hata türü ise diğer yöntemlerde 19 ve 23 risk sıralaması değerlerini almıştır. Ayrıca ilk 20 sıradaki hata türlerinin sunucu sayılarına bakıldığında 120 ve 130 numaralı sunucuların daha fazla hata gösterdiği gözlemlenmiştir. Diğer sunucularda meydana gelen hatalar bir ile iki arasında değişiklik göstermiştir.

Tablodan elde edilen benzerlikler doğrultusunda alternatif yöntemdeki ilk 20 hata türü için Spearman'ın sıralamalı korelasyon değerlerine bakıldığında yöntemler arasındaki benzerlik sayısal olarak değerlendirilebilir. Spearman'ın sıralamalı korelasyon değerleri Tablo 1Tablo 15'te sunulmuştur. Tablodan da görüleceği üzere geliştirilen alternatif yöntem ile diğer ÇKKV yöntemlerinin sıralamaları için 0,80 Spearman değeri elde edilmiştir. ÇKKV yöntemlerinin kendi aralarındaki Spearman değerleri ise daha yüksek olarak elde edilmiştir.

**Tablo 15. Geleneksel HTEA Tabanlı Alternatif Yöntemin İlk 20 Hata Türü ve Diğer Yöntemler ile Karşılaştırılması**

| H.T. | AY | GİA | TOPSIS | VIKOR |
|---|---|---|---|---|
| 23002596 | 1 | 7 | 7 | 7 |
| 23002597 | 2 | 6 | 6 | 6 |
| 23102605 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| 23102606 | 4 | 5 | 5 | 2 |
| 12001849 | 5 | 3 | 1 | 3 |
| 11601816 | 6 | 2 | 3 | 5 |
| 11601817 | 7 | 1 | 2 | 4 |
| 4301020 | 8 | 12 | 17 | 12 |
| 4601113 | 9 | 11 | 11 | 10 |
| 4701137 | 10 | 10 | 10 | 11 |
| 5001216 | 11 | 8 | 8 | 8 |
| 5001219 | 12 | 9 | 9 | 9 |
| 1200109 | 13 | 21 | 21 | 22 |
| 1200134 | 14 | 14 | 13 | 15 |
| 1200138 | 15 | 13 | 12 | 14 |
| 1200139 | 16 | 22 | 22 | 20 |
| 1300144 | 17 | 18 | 18 | 16 |
| 1300171 | 18 | 15 | 15 | 13 |
| 1300172 | 19 | 19 | 19 | 17 |
| 1300784 | 20 | 23 | 23 | 19 |

**Tablo 16. İlk 20 Hata Türü için Spearman Sıralamalı Korelasyon Değerleri**

| | AY | GİA | TOPSIS |
|---|---|---|---|
| GİA | 0,84962 | | |
| TOPSIS | 0,81955 | 0,98647 | |
| VIKOR | 0,84662 | 0,9609 | 0,95639 |

Geleneksel HTEA tabanlı alternatif yöntemde ilk olarak metrik değerleri 10 aralığa ayrıklaştırılmıştır. Burada bilinen ayrıklaştırma yöntemine bir yineleme özelliği kazandırılarak değerlerin daha benzer özelliklere sahip aralıklara dâhil edilmesi amaçlanmıştır. İşlem yoğunluğuna örnek olması açısından, HB metriği EFA yönteminde en fazla 14 yinelemede, F metriğini EAA yönteminde en az iki yinelemede atama işlemleri tamamlamıştır. Bu verilen yineleme sayıları bu çalışmadaki örnek çalışma için olup, farklı miktardaki veriler ve verilerin dağılımına göre değişiklik gösterebilecektir. EAA yöntemi ile ayrıklaştırma yapılırken benzer özelliklerdeki skorların bir arada bulunma olasılığı daha yüksektir. Bu yüzden EFA'ya göre EAA işlemlerinde daha az yineleme sayısı ile son aralıklar elde edilmiştir (Bkz. Ek B). Takip eden süreçte metrikler entropi yöntemi ile elde edilmiş ağırlık değerleri ile ağırlıklandırılmıştır. Ardından ayrıklaştırılmış metrik değerleri ile bir risk sıralaması elde edebilmek için geleneksel HTEA'daki çarpım işlemi yerine karelerin toplanmıştır.

GİA ile yapılan sıralamada ilk olarak veri seti GİA için hazırlanır ve bir karar matrisi oluşturulur. İkinci olarak referans serisi ve karşılaştırma matrisi oluşturulur. Üçüncü adımda karar matrisinin normalizasyon işlemleri tamamlanır. Dördüncü adımda ise referans seri ile her bir hata türünün arasındaki uzaklıkların mutlak değerleri hesaplanır. Beşinci adımda bu mutlak değer matrisi ile gri ilişkisel katsayı matrisi oluşturulur. Son olarak elde edilmiş gri ilişkisel katsayı değerleri ile entropi yöntemi ile elde edilmiş ağırlık değerleri çarpılarak her bir hata türü için gri ilişkisel dereceleri hesaplanır ve bu değerlere göre sıralama işlemi yapılır. GİA ile yapılan risk sıralama işlemlerine bakıldığında başlangıçta oluşturulan karar matrisi birçok defa işleme tabi tutulmaktadır ve işlem yoğunluğu yüksek olabilecektir.

TOPSIS yöntemi de GİA ile benzer şekilde karar matrisinin oluşturulması ile başlar. İkinci adımda karar matrisi normalize edilir. Üçüncü adımda normalize edilmiş karar matrisi entropi yöntemi ile elde edilmiş ağırlık değerleri ile çarpılarak normalize matris ağırlıklandırılır. Dördüncü adımda ideal ve negatif ideal çözüm değerleri hesaplanır. Beşinci adımda her bir hata türünün ideal ve negatif ideal çözüm değerlerine olan uzaklıkları hesaplanır. Son adımda elde edilen uzaklık değerlerine göre risk sıralaması işlemleri tamamlanır. Bu yöntemde risk sıralaması yapmak için hem ideal çözüme olan yakınlık istenmekte hem de negatif ideal çözümden uzaklık istenmektedir. Hesap yoğunluğu açısından bakıldığında TOPSIS yönteminin hesap yoğunluğu da yüksek olacaktır.

Bir diğer ÇKKV yöntemi olan VIKOR'da ise ilk olarak satırlarını hata türlerinin, sütunlarını risk metriklerinin oluşturduğu bir karar matrisi oluşturulur, en iyi ve en kötü metrik skoru değerleri belirlenir. İkinci adımda normalizasyon işlemi yapılır. Üçüncü adımda normalize edilmiş matris, metrikler entropi yöntemi ile elde edilen ağırlık değerlerine göre ağırlıklandırılır. Dördüncü adımda her bir hata türü için ortalama ve en kötü grup skorları belirlenir. Beşinci adımda elde edilen grup skorları ile $Q_i$ değerleri hesaplanır. Son adımda grup skorları ve $Q_i$ değerleri ile hata türleri sıralanır ve koşullar denetlenir. Hesap yoğunluğu açısından bakıldığında VIKOR yönteminin hesap yoğunluğu da yüksek olacaktır.

Bu çalışmada 4 farklı yöntem ile risk sıralamaları elde edilmiştir. Bu yöntemler arasındaki benzerlik oranları yüksektir. Ancak, bazı küçük farklılıklar da bulunmaktadır. Aynı değerler ve aynı ağırlıklar kullanılmasına rağmen bazı hata türlerinde farklı yöntemlerde farklı sıralamalar olmuştur. Yöntemlerin işleyiş akışının farklı olması bu farklılıkların en temel sebebidir. AY ve GİA da ağırlıklandırma işlemi son adımda yapılırken, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde üçüncü adımda ağılıklandırmalar yapılmaktadır. GİA ve VIKOR yöntemlerinde lineer normalizasyon yöntemi kullanılırken, TOPSIS yönteminin

normalizasyonu lineer değildir. Ayrıca AY'da normalizasyon adımı bulunmamaktadır. Alternatif yöntemde bir veri ayrıklaştırma adımı bulunurken diğer yöntemlerde ayrıklaştırma işlemi bulunmamaktadır. Son olarak, hata türlerinin sıralanması aşamasında kullanılan denklemler ve sıralama hesaplanırken dikkate alınan ölçütlerin farklı olmasında dolayı da bahsedilen küçük farklılıklar oluşmaktadır. Diğer bir taraftan, ufak farklılıklara rağmen yöntemlerin sıralamaları arasındaki Spearman sıralama korelasyonları oldukça yüksek çıkmıştır. Farklılıklara rağmen sıralamalardaki benzerlik oranları oldukça yüksektir.

| Alternatif Yöntemin Sözde Kodu | Karmaşıklık |
|---|---|
| for i=1:n<br>  for j=1:10 %10 aralık elde etmek için<br>  if<br>  Verileri aralıklara ata %Eşit aralıklı<br>  ayrıklaştırma yöntemi ile ilk aralıkları hesapla<br>  end<br>  end<br>end | O(10*n) |
| for i=1:10<br>  Elde edilen aralıkların ortalamalarını hesapla<br>  %Her aralıktaki elemanların toplamını aralık eleman<br>  sayısına böl<br>end | O(10) |
| while stopcriteria <100 %program en fazla 100 adım çalışacak<br>  for i=1:n<br>  for j=1:10<br>  Tüm verilerin orta noktalara uzaklığını hesapla<br>  Verileri orta noktaya uzaklığın en az olan aralığa<br>  ata<br>  end<br>  end<br>  if Aralık(stopcriteria)=Aralık(stopcriteria-1) %Elde<br>  ettiğin son aralık elemanları ile bir önceki adımda<br>  elde ettiğin aralık elemanlarını karşılaştır<br>  k=100 %programı durdur<br>  else<br>  k=k+1<br>  end<br>end | O(100*n*10) |
| for i=1:n<br>  Verileri bulunduğu aralığa göre metrik değerleri ata<br>  %Eğer 1. aralıkta ise metrik değeri 1 olsun<br>  Metrik değerinin karesini hesapla ve ağırlık değeri ile<br>  çarp<br>end | O(n) |

**Şekil 15. Alternatif Yöntemin Sözde Kodu ve Karmaşıklığı**

Alternatif yöntemin sözde kodu ve adımların karmaşıklığı Şekil 15'te sunulmuştur. Öncelikle veriler eşit aralık yöntemine göre ayrıklaştırılmıştır. Burada adımın karmaşıklığı O(10*n) olarak hesaplanmıştır. Daha sonra aralıktaki elemanların ortalama değerleri hesaplanmış ve adım karmaşıklığı O(10) olarak hesaplanmıştır. Bir sonraki adımda ortalama değerlere göre tekrardan aralıklar belirlenmiştir. Adımın son kısmında bir önceki bulunan

aralıklardaki elemanlar mevcut durumda bulunan aralık elamanları ile karşılaştırılıp aralıkların nihai aralık elamanlarının değişiklik durumu kontrol edilmektedir. Eğer bir fark yok ise program durdurulur, eğer herhangi bir fark söz konusu ise `while` döngüsünün başına dönülerek yapılan adımlar tekrarlanır. Böylece bu adımın karmaşıklığı O(10*n*100) olarak hesaplanmıştır. Algoritmanın son adımında ayrıklaştırılan değerlere göre metriklerin skor atamaları yapılır ve RÖS değerleri hesaplanır. Adımların karmaşıklıkları değerlendirildiğinde algoritmanın toplam karmaşıklığı O(n) olarak hesaplanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında TOPSIS yönteminin karmaşıklığı $O(n^2)$ olarak hesaplanmıştır [79]. Bu durumda alternatif yöntemin karmaşıklığı TOPSIS yönteminden daha azdır.

Yukarıda bahsedilen ÇKKV yöntemlerini işlem yükü bakımından değerlendirecek olursak GİA yöntemi daha az işlem yükü içermektedir. GİA yöntemi sadece referans seri ile uzaklığa göre risk sıralaması yapmaktadır. TOPSIS yönteminde ise iki farklı uzaklığa göre bir risk sıralaması elde edilmektedir. Son olarak VIKOR yönteminde ise ikiden fazla kriter baz alınarak sıralama işlemi yapılmaktadır. Bu örnek çalışmada 260 hata türü ve üç metrik türü değerlendirilmiştir. Bilgisayarların sağladığı avantajlar ile yöntemlerin arasındaki uygulama zamanları arasında çok ciddi derecede farklılıklar gözlenmemiştir. Ancak, hata türleri ve metrik sayısı artıkça, yani karar matrislerinin boyutları büyüdükçe bilinen ÇKKV yöntemlerinin uygulama süreleri ciddi oranlarda artış gösterebilecektir. Bu gibi durumlarda hesaplama kolaylığı açısından geleneksel HTEA tabanlı alternatif yöntem önerilebilecektir. Genel olarak bu dört yöntemin sonuçları alınarak iyileştirme sıralamaları yapılması önerilmektedir. Bu sayede yöntemler arasındaki farklılıklar ve benzerlikler görülebilecektir.

# 6. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, 1940'lardan bu yana kullanılmakta olan ve sağladığı sonuçlardan dolayı sürekli geliştirilmiş bir kalite aracı olan HTEA otomatikleştirilmeye çalışılmış ve bilgisayar sunucu bağlantı kopuklukları problemine özel metrikler geliştirilmiştir. Bu metrikler kullanılarak geleneksel HTEA tabanlı alternatif bir yöntem ile ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Önceki yapılan çalışmalar taranması sonucu HTEA'nın manuel olarak uygulanmasının sübjektiflik içermesinden dolayı hataya yatkın bir analiz olduğu gözlenmiştir. Geliştirilen yöntemlerde genel olarak risk önceliklendirme sayılarının daha objektif yöntemler ile elde edilmesi üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmanın temel amacı HTEA'yı bir bütün olarak görüp, hata türlerinin bulunmasından risk öncelik sayılarının hesaplanması aşamasına kadar objektif yöntemlerle analizin gerçekleştirilmesidir. Bu sayede çok uzun sürelerde gerçekleşen HTEA'nın daha kısa sürelerde uygulanması hedeflenmiş ve yöntemdeki zaman alıcı işlemlerin azaltılması sağlanmıştır. Bu sayede işlem süresi kısaltılarak uygulama alanı sayısı artırılabilecektir.

Yöntemlerin uygulanabilirliğini göstermek için sunucu veri günlükleri kullanılmıştır. Burada, dört aylık bir veri seti üzerinde gerçekleşen bağlantı kopmaları hata türü olarak düşünülmüştür. Bahsedilen veri setine yöntemin uygulanması için öncelikle veri temizlenmiş ve ilişkisiz satırlar veriden kaldırılmıştır. Ardından veri aktarımı sırasında gerçekleşen bağlantı kopuklarından hata türleri elde edilmiştir. Geleneksel HTEA'da kullanılan risk değerlendirme metriklerine kıyasla daha objektif ve veri tabanlı metrikler elde edilmiş ve her bir hata türü için söz konusu metriklerin değerleri hesaplanmıştır. Anılan metrik değerleri elde edilmeden önce, hata türlerinin metriklerde aldığı değerler detaylı bir şekilde analiz edilmiş, risk değerlendirme aşamasını çok fazla etkileyen uç değerlere sahip hata türleri dışarıda bırakılarak, ayrı olarak değerlendirilmiştir.

Metrik değerlerinin elde edilmesiyle, risk sıralaması için daha önce literatürde kullanılmış olan GİA, VIKOR ve TOPSIS yöntemleri ve geleneksel HTEA tabanlı alternatif yöntem ile risk sıralamaları yapılmıştır. Alternatif yöntemde daha objektif bir skor politikası için veri ayrıklaştırma yöntemleri kullanılmış ve bilinen yönteme yineleme özelliği kazandırılarak metrik değerlerinin benzer özellikler içeren aralıklara dahil edilmesi sağlanmıştır. Son olarak literatürde sıkça eleştirilen çarpma işlemi yerine metrik skorlarının karelerinin toplanması ile elde edilebilen RÖS değerleri sayısı arttırılmıştır. 260 hata türünün dört farklı yöntem ile yapılan sıralamalarında farklılıklar ve benzerlikler görülmüştür. Tablo 17'de dört farklı

yöntem ile elde edilen risk sıralamalarının ilk 60 satırı verilmiştir. Tüm hata türlerinin sıralaması Ek C'de verilmiştir.

**Tablo 17. Farklı Yöntemler ile Risk Sıralamaları**

| RÖS | AY | AY – RÖS | GRA | GİA - RÖS | TOPSIS | TOPSIS - RÖS | VIKOR | VIKOR-RÖS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 23002596 | 96,27383 | 11601817 | 0,50201 | 12001849 | 0,971226 | 23102605 | 0,000212 |
| 2 | 23002597 | 96,27383 | 11601816 | 0,502009 | 11601817 | 0,970438 | 23102606 | 0,001599 |
| 3 | 23102605 | 96,27383 | 12001849 | 0,502007 | 11601816 | 0,970392 | 12001849 | 0,011378 |
| 4 | 23102606 | 96,27383 | 23102605 | 0,501924 | 23102605 | 0,919509 | 11601817 | 0,013699 |
| 5 | 12001849 | 89,99818 | 23102606 | 0,501922 | 23102606 | 0,917646 | 11601816 | 0,014161 |
| 6 | 11601816 | 87,44869 | 23002597 | 0,501875 | 23002597 | 0,886733 | 23002597 | 0,032573 |
| 7 | 11601817 | 87,44869 | 23002596 | 0,501874 | 23002596 | 0,886104 | 23002596 | 0,032858 |
| 8 | 4301020 | 85,29144 | 5001216 | 0,50178 | 5001216 | 0,851953 | 5001216 | 0,119326 |
| 9 | 4601113 | 85,29144 | 5001219 | 0,50178 | 5001219 | 0,851914 | 5001219 | 0,11984 |
| 10 | 4701137 | 85,29144 | 4701137 | 0,501774 | 4701137 | 0,849336 | 4601113 | 0,124918 |
| 11 | 5001216 | 85,29144 | 4601113 | 0,501763 | 4601113 | 0,840605 | 4701137 | 0,126153 |
| 12 | 5001219 | 85,29144 | 4301020 | 0,501732 | 1200138 | 0,826268 | 4301020 | 0,146547 |
| 13 | 1200109 | 83,52641 | 1200138 | 0,501732 | 1200134 | 0,825931 | 1300171 | 0,156048 |
| 14 | 1200134 | 83,52641 | 1200134 | 0,501731 | 1100069 | 0,824212 | 1200138 | 0,159307 |
| 15 | 1200138 | 83,52641 | 1300171 | 0,501729 | 1300171 | 0,824073 | 1200134 | 0,15955 |
| 16 | 1200139 | 83,52641 | 1100069 | 0,501727 | 1000059 | 0,822034 | 1300144 | 0,160542 |
| 17 | 1300144 | 83,52641 | 1000059 | 0,501724 | 4301020 | 0,821799 | 1300172 | 0,161187 |
| 18 | 1300171 | 83,52641 | 1300144 | 0,501723 | 1300144 | 0,820623 | 1302294 | 0,162393 |
| 19 | 1300172 | 83,52641 | 1300172 | 0,50172 | 1300172 | 0,818838 | 1300784 | 0,162542 |
| 20 | 1300784 | 83,52641 | 1302294 | 0,50172 | 1302294 | 0,818583 | 1200139 | 0,162632 |
| 21 | 1302294 | 83,52641 | 1200109 | 0,501718 | 1200109 | 0,818057 | 1100069 | 0,163849 |
| 22 | 1000059 | 82,15361 | 1200139 | 0,501717 | 1200139 | 0,817002 | 1200109 | 0,164247 |
| 23 | 1100069 | 82,15361 | 1300784 | 0,501717 | 1300784 | 0,816835 | 1000059 | 0,165755 |
| 24 | 23703999 | 71,06011 | 25204012 | 0,501102 | 25204012 | 0,366562 | 25204012 | 0,538703 |
| 25 | 25204012 | 70,14613 | 22003995 | 0,501035 | 22003995 | 0,325332 | 22003995 | 0,584069 |
| 26 | 21903998 | 67,33394 | 22904001 | 0,501032 | 21903998 | 0,322751 | 22904001 | 0,585655 |
| 27 | 22003995 | 67,33394 | 21903998 | 0,501032 | 22904001 | 0,321862 | 21903998 | 0,586436 |
| 28 | 22103997 | 67,33394 | 22103997 | 0,501029 | 22103997 | 0,321275 | 22103997 | 0,587778 |
| 29 | 22904001 | 67,33394 | 23703999 | 0,501005 | 23703999 | 0,302231 | 23703999 | 0,60234 |
| 30 | 23303369 | 67,33394 | 23303369 | 0,50099 | 23303369 | 0,295275 | 23303369 | 0,614125 |
| 31 | 23804000 | 59,49145 | 22204002 | 0,500975 | 22204002 | 0,285418 | 22204002 | 0,623863 |
| 32 | 23903996 | 59,49145 | 23903996 | 0,500963 | 23202616 | 0,278235 | 23903996 | 0,62754 |
| 33 | 21804005 | 55,27565 | 23202616 | 0,500959 | 23202615 | 0,277689 | 23804000 | 0,632028 |
| 34 | 21904029 | 55,27565 | 23804000 | 0,500958 | 603799 | 0,274356 | 23202616 | 0,637167 |
| 35 | 22004008 | 55,27565 | 23202615 | 0,500958 | 603777 | 0,273063 | 23202615 | 0,637928 |
| 36 | 22104017 | 55,27565 | 22004008 | 0,500927 | 23903996 | 0,272717 | 22004008 | 0,656463 |
| 37 | 22204002 | 55,27565 | 21804005 | 0,500925 | 603794 | 0,272531 | 21804005 | 0,65766 |
| 38 | 22704018 | 55,27565 | 21904029 | 0,500924 | 603792 | 0,272522 | 22904040 | 0,658773 |
| 39 | 22904040 | 55,27565 | 22904040 | 0,500923 | 603725 | 0,272493 | 21904029 | 0,658799 |
| 40 | 23202615 | 54,85131 | 22104017 | 0,500922 | 603796 | 0,272466 | 22104017 | 0,659349 |

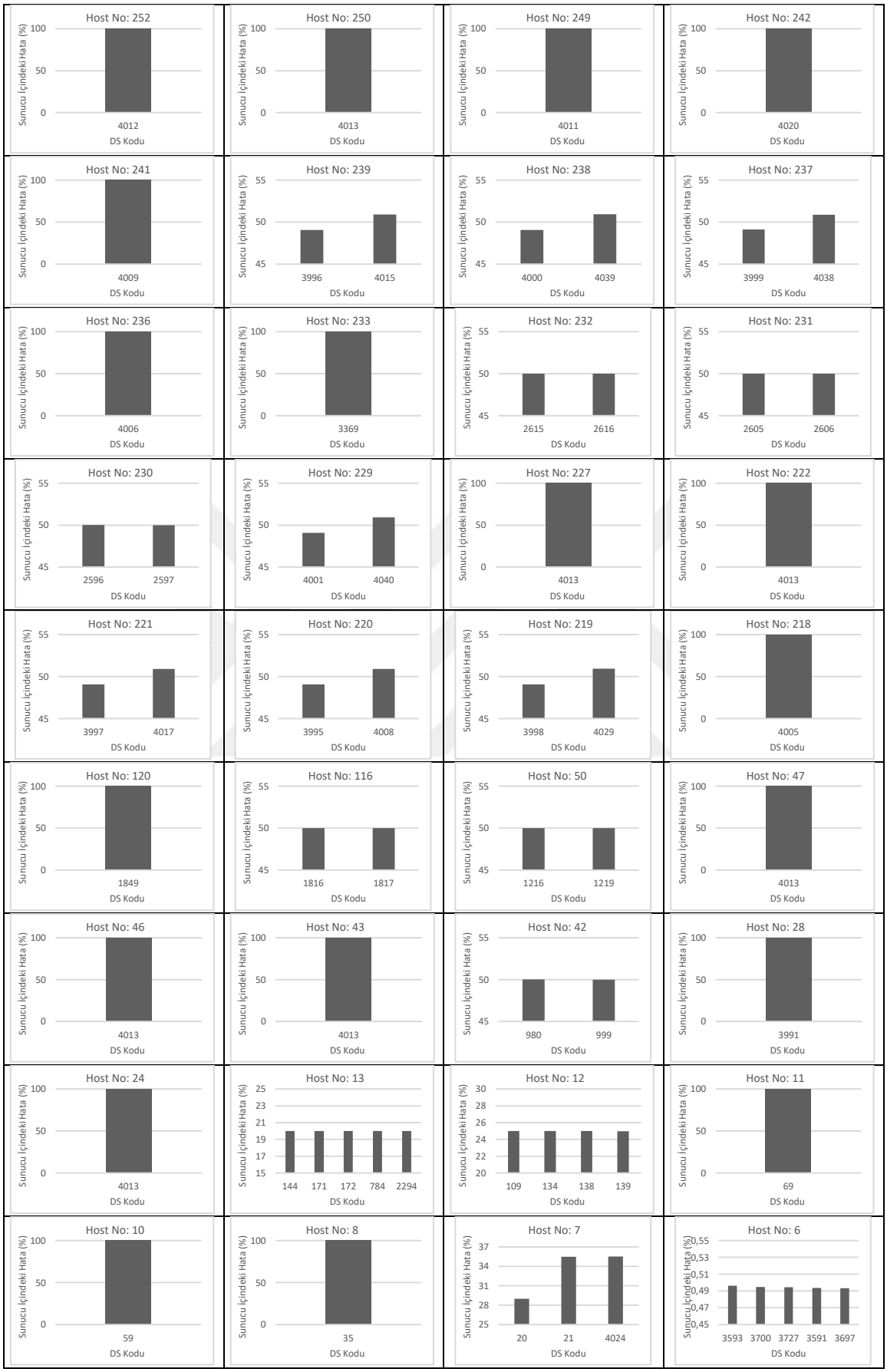
| RÖS | AY | AY – RÖS | GRA | GİA - RÖS | TOPSIS | TOPSIS - RÖS | VIKOR | VIKOR-RÖS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | 23202616 | 54,85131 | 22704018 | 0,500919 | 603778 | 0,272465 | 22704018 | 0,66086 |
| 42 | 23704038 | 48,97565 | 2803991 | 0,500903 | 603785 | 0,271901 | 23604006 | 0,676372 |
| 43 | 23804039 | 48,97565 | 603799 | 0,500901 | 603780 | 0,271846 | 25004013 | 0,688337 |
| 44 | 23904015 | 48,97565 | 603796 | 0,500899 | 603702 | 0,271824 | 24904011 | 0,689373 |
| 45 | 24104009 | 48,97565 | 603794 | 0,500899 | 2803991 | 0,271542 | 24104009 | 0,692367 |
| 46 | 24204020 | 48,97565 | 603792 | 0,500898 | 603787 | 0,271313 | 24204020 | 0,692591 |
| 47 | 24904011 | 48,97565 | 603777 | 0,500898 | 603784 | 0,271274 | 23904015 | 0,69322 |
| 48 | 25004013 | 48,97565 | 603725 | 0,500898 | 603770 | 0,271195 | 23704038 | 0,693237 |
| 49 | 23604006 | 45,24948 | 603778 | 0,500897 | 603764 | 0,270758 | 2803991 | 0,693583 |
| 50 | 603589 | 43,01786 | 603785 | 0,500897 | 603685 | 0,270741 | 23804039 | 0,694976 |
| 51 | 603590 | 43,01786 | 603787 | 0,500897 | 603790 | 0,270704 | 603799 | 0,69701 |
| 52 | 603698 | 43,01786 | 603780 | 0,500896 | 603782 | 0,270671 | 603796 | 0,698643 |
| 53 | 603726 | 43,01786 | 603784 | 0,500896 | 603709 | 0,270641 | 603794 | 0,698747 |
| 54 | 603786 | 43,01786 | 603790 | 0,500896 | 603771 | 0,270607 | 603792 | 0,698929 |
| 55 | 603788 | 43,01786 | 603698 | 0,500896 | 603758 | 0,270113 | 603725 | 0,699516 |
| 56 | 603789 | 43,01786 | 603702 | 0,500896 | 23804000 | 0,270072 | 603777 | 0,699745 |
| 57 | 603791 | 43,01786 | 603782 | 0,500895 | 603714 | 0,270041 | 603785 | 0,699756 |
| 58 | 603793 | 43,01786 | 23604006 | 0,500895 | 603708 | 0,270039 | 603787 | 0,699893 |
| 59 | 603795 | 43,01786 | 603764 | 0,500895 | 603779 | 0,270035 | 603698 | 0,700066 |
| 60 | 603797 | 43,01786 | 603709 | 0,500895 | 603701 | 0,270021 | 603778 | 0,700087 |

Verilen ilk 60 sıralamanın benzerliklerine yönelik Spearman sıralamalı korelasyon değerleri Tablo 18'de verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere yöntemler arasındaki benzerliklerin yüksek olduğu Spearman değerlerinden anlaşılmaktadır. İlk 60 sıralamadaki benzerlikler ilk 20'dekiler ile karşılaştırıldığında benzerlik oranın artığı gözlenmiştir. Yöntemlerin sıralamaları hususunda benzerlik oranı yüksek olması ile birlikte bazı küçük farklılıklarda bulunmaktadır. Bahsedilen farklılıkların en temel sebepleri arasında yöntemlerin işleyiş adımlarının farklı olması gelmektedir. Ayrıca yöntemlerde kullanılan farklı denklemler ve alt yöntemlerde sıralamalardaki ufak farklılıklara neden olmaktadır.

**Tablo 18. İlk 60 Hata Türü için Spearman Sıralamalı Korelasyon Değerleri**

| | AY | GİA | TOPSIS |
|---|---|---|---|
| GİA | 0,93204 | | |
| TOPSIS | 0,85579 | 0,96038 | |
| VIKOR | 0,97727 | 0,95671 | 0,88547 |

Sıralamaların ardından 36 sunucu için her sunucu için öncelikli veri kaynakları hataları Şekil 16'da sunulmuştur. Burada her sunucuda öncelikli olarak değerlendirilecek ilk beş hata türünün ilgili sunucudaki hata yüzdeleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Burada bazı sunucuların öncelikli hata türleri arasında incelenecek veri kaynağı sayısı beşten küçük olduğu için bazı grafikler de beşten az veri kaynağı (DS) kodu bulunmaktadır.




**Şekil 16. Sunuculardaki Öncelikli Hataların Yüzde Grafikleri**

Bu tez çalışmasında geliştirilen metrikler ve HTEA yöntemleriyle aşağıdaki hususlar gerçekleştirilmiştir:

- HTEA'nın daha objektif olarak elde edilebilecek metrikler ile uygulanması sağlanmıştır. Bu kapsamda veri tabanlı risk değerlendirme metrikleri bilgisayar sunucu kopuklukları problemleri için önerilmiştir.
- Bu çalışmada dört farklı yönteme göre risk sıralamaları sunulmuştur. Aynı hata türleri farklı yöntemlerde farklı öncelik sıralamaları alabilmektedir. Hata türlerinin önceliklendirilmesi aşamasında farklı yöntemlerle elde edilen sıralamaların tümü dikkate alınarak öncelikli hata türlerinin belirlenmesine önerilmektedir.
- HTEA'nın bilgisayar sunucu kopuklukları problemlerinde otomatikleştirme dolayısıyla uygulama süresi kısaltılmış ve farklı alanlarda uygulanmasının önü açılmıştır. Örneğin firmaların garanti kapsamında yaptığı onarım verileri kullanılarak firmanın Ar-Ge çalışmaları için hangi alanda geliştirmeler yapması konusunda daha kısa sürede daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Medikal sektörü için bir hastalığı etkileyen faktörler değerlendirilerek, en riskli kişi grupları objektif bir şekilde belirlenebilir.
- Hata türlerine skorlar verilmesi aşamasında objektif skor politikası için geleneksel HTEA'da da kullanılabilecek veri ayrıklaştırma yöntemleri önerilmiştir.
- Literatürde sıkça eleştirilen, RÖS değerleri elde edilme aşamasında metriklerin çarpımı yerine skorların karelerinin toplanması ile elde edilen yeni bir RÖS hesaplama yöntemi sunulmuştur. Bu geleneksel HTEA analizinde de kullanılabilecektir.
- Bu tez çalışmasında geleneksel RÖS hesaplama yöntemi yerine alternatif yöntemler kullanılmıştır. Bunun başlıca sebebi farklı metrik değerlerinin aynı RÖS değerini üretmesidir. Örneğin, 603799 hata kodlu hata türü için metrik değerleri (7 3 8) ve 2404014 hata kodlu hata türü için metrik değerleri (6 4 7) olmuştur. Eğer bu değerler geleneksel yöntem ile değerlendirilecek olsaydı ikisi de aynı RÖS değeri olan 168 değerini üretecekti. Tezde kullanılan yöntemler ile bir metrik değerinde 8 skorunu almış hata türü daha önemli hale gelmiştir. Bahsedilen hata türleri karşılaştırıldığında 603799 hata kodlu hata türünün iki metrik değerinde yüksek skorlar aldığı için diğer hata türüne göre öncelikli değerlendirilecek hata türü olması gerekmektedir.

Gelecek çalışmalarda, farklı özel uygulama alanları için otomatikleştirmenin ve objektifliğin sağlanması için farklı metrikler geliştirilebilecektir. Örneğin, üretim sektöründen elde

edilecek bir veri setinde maliyet bir risk değerlendirme metriği olarak düşünülebilir. Hatanın onarımına kadar geçen süre maliyet olarak düşünülebilir. Bir başka örnek olarak hizmet sektöründen elde edilecek veriler için fırsat maliyeti önemli bir risk değerlendirme metriği olarak düşünülebilir.

# KAYNAKÇA


[1] US Department of Defence, "MIL-STD-1629 Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis," 1949.

[2] C. S. Carlson, *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*. 2012.

[3] G. Q. Huang, J. Shi, and K. L. Mak, "Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Over the WWW," *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 16, pp. 603–608, 2000.

[4] C. J. Price, D. R. Pugh, M. S. Wilson, and N. Snooke, "The Flame system: automating electrical failure mode and effects\nanalysis (FMEA)," *Annu. Reliab. Maintainab. Symp. 1995 Proc.*, pp. 90–95, 1995.

[5] R. Wirth, B. Berthold, A. Krämer, and G. Peter, "Knowledge-based support of system analysis for the analysis of Failure modes and effects," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 9, no. 3, pp. 219–229, Jun. 1996.

[6] J. E. Hunt, C. J. Price, and M. H. Lee, "Automating the FMEA process," *Intell. Syst. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 119–132, 1993.

[7] C. J. Price and N. S. Taylor, "Automated multiple failure FMEA," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 76, no. 1, pp. 1–10, Apr. 2002.

[8] D. H. Stamatis, *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. 2003.

[9] H.-C. Liu, L. Liu, Q. Bian, Q. Lin, N. Dong, and P. Xu, "Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 4, pp. 4403–4415, 2011.

[10] K.-S. Chin, Y.-M. Wang, G. K. K. Poon, and J.-B. Yang, "Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis," *Decis. Support Syst.*, vol. 48, no. 1, pp. 246–256, 2009.

[11] J. M. Legg, "Computerized Approach for Matrix-Form FMEA," *IEEE Trans. Reliab.*, vol. R-27, no. 4, pp. 254–257, Oct. 1978.

[12] G. Q. Huang, J. Shi, and K. L. Mak, "Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Over the WWW," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 16, no. 8, pp. 603–608, Jul. 2000.

[13] D. Bell, L. Cox, S. Jackson, and P. Schaefer, "Using causal reasoning for automated failure modes and effects analysis (FMEA)," *Proc. Annu. Reliab. Maintainab. Symp.*, pp. 343–353, 1992.

[14] H. B. Dussault, "Automated FMEA Status and Future," in *Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1984. Proceedings.*, 1984, pp. 1–5.

[15] L. Gan, J. Xu, and B. T. Han, "A computer-integrated FMEA for dynamic supply chains in a flexible-based environment," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 59, no. 5–8, pp. 697–717, 2012.

[16] D. Palumbo, "Automating failure modes and effects analysis," in *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 1994, pp. 304–309.

[17] P. G. Hawkins and D. J. Woollons, "Failure modes and effects analysis of complex engineering systems using functional models," *Artif. Intell. Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 375–397, 1998.

[18] P. C. Teoh and K. Case, “Failure modes and effects analysis through knowledge modelling,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 153–154, pp. 253–260, Nov. 2004.

[19] C. J. Price, N. Snooke, D. R. Pugh, J. E. Hunt, and M. S. Wilson, “Combining functional and structural reasoning for safety analysis of electrical designs,” *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 12, no. 3, pp. 271–287, Sep. 1997.

[20] N. Hughes, E. Chou, C. Price, and M. Lee, “Automating Mechanical FMEA Using Functional Models.,” *FLAIRS Conf.*, 1999.

[21] M. B. Zaman, E. Kobayashi, N. Wakabayashi, S. Khanfir, T. Pitana, and A. Maimun, “Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: based on AIS data,” *J. Simul.*, vol. 8, no. 1, pp. 91–104, 2013.

[22] S. Kmenta and K. Ishii, “Scenario-Based Failure Modes and Effects Analysis Using Expected Cost,” *J. Mech. Des.*, vol. 126, no. 6, p. 1027, Nov. 2004.

[23] V. Ebrahimipour, K. Rezaie, and S. Shokravi, “An ontology approach to support FMEA studies,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 37, no. 1, pp. 671–677, 2010.

[24] K. W. Noh, H. B. Jun, J. H. Lee, G. B. Lee, and H. W. Suh, “Module-based Failure Propagation (MFP) model for FMEA,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 55, no. 5–8, pp. 581–600, 2011.

[25] N. Snooke and C. Price, “Automated FMEA based diagnostic symptom generation,” *Adv. Eng. Informatics*, vol. 26, no. 4, pp. 870–888, 2012.

[26] M. Hecht, E. Dimpfl, and J. Pinchak, “Automated Generation of Failure Modes and Effects Analysis from SysML Models,” in *2014 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops*, 2014, pp. 62–65.

[27] C. Price, “AutoSteve : Automated Electrical Design Analysis,” *Appl. Model. Reason. (Digest No 1997/338), IEE Colloq.*, pp. 59–63, 1997.

[28] R. Renu, D. Visotsky, S. Knackstedt, G. Mocko, J. D. Summers, and J. Schulte, “A Knowledge Based FMEA to Support Identification and Management of Vehicle Flexible Component Issues,” *Procedia CIRP*, vol. 44, pp. 157–162, 2016.

[29] G. Li, J. Gao, and F. Chen, “A novel approach for failure modes and effects analysis based on polychromatic sets,” *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.*, vol. 23, no. 2, p. 119, Nov. 2008.

[30] T. Kurtoglu and I. Y. Tumer, “A Graph-Based Fault Identification and Propagation Framework for Functional Design of Complex Systems,” *J. Mech. Des.*, vol. 130, no. 5, p. 51401, May 2008.

[31] J. Buddhakulsomsiri, Y. Siradeghyan, A. Zakarian, and X. Li, “Association rule-generation algorithm for mining automotive warranty data,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 44, no. 14, pp. 2749–2770, 2006.

[32] R. P. J. C. B. Bose and W. M. P. Aalst, “Discovering Siganture Patterns from Event Logs,” *2013 IEEE Symp. Comput. Intell. Data Min.*, pp. 111–118, 2013.

[33] C. Yang, Y. Zou, P. Lai, and N. Jiang, “Data mining-based methods for fault isolation with validated FMEA model ranking,” *Appl. Intell.*, vol. 43, no. 4, pp. 913–923, 2015.

[34] C. E. Shannon and W. Weaver, “The Mathematical Theory of Communication,” *Math. theory Commun.*, vol. 27, no. 4, p. 117, 1949.

[35] A. Sachdeva, P. Kumar, and D. Kumar, “Maintenance criticality analysis using

TOPSIS," *IEEM 2009 - IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag.*, pp. 199–203, 2009.

[36] O. Mohsen and N. Fereshteh, "An extended VIKOR method based on entropy measure for the failure modes risk assessment – A case study of the geothermal power plant (GPP)," *Saf. Sci.*, vol. 92, pp. 160–172, 2017.

[37] R. Jin, Y. Breitbart, and C. Muoh, "Data Discretization Unification," *Seventh IEEE Int. Conf. Data Min. (ICDM 2007)*, pp. 183–192, 2007.

[38] D. L. Olson and D. Delen, *Advanced data mining techniques*. 2008.

[39] K. Das and O. P. Vyas, "A Suitability Study of Discretization Methods for Associative Classifiers," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 5, no. 10, pp. 46–51, 2010.

[40] M. X. Ribeiro, M. R. P. Ferreira, a. J. M. Traina, and C. Traina Jr., "Data pre-processing: a new algorithm for feature selection and data discretization," *Proc. 5th Int. Conf. Soft Comput. as Transdiscipl. Sci. Technol.*, pp. 252–257, 2008.

[41] E. Frank and I. H. Witten, "Making better use of global discretization," pp. 1–12, 1999.

[42] S. Kotsiantis and D. Kanellopoulos, "Discretization Techniques : A recent survey," *GESTS Int. Trans. Comput. Sci. Eng.*, vol. 32, no. 1, pp. 47–58, 2006.

[43] J. M. Cadenas, M. C. Garrido, and R. Martinez, "Fuzzy Discretization Process from Small Datasets," *Comput. Intell.*, no. 808, pp. 101–118, 2010.

[44] Y. Sang, H. Qi, K. Li, Y. Jin, D. Yan, and S. Gao, "An effective discretization method for disposing high-dimensional data," *Inf. Sci. (Ny).*, vol. 270, pp. 73–91, 2014.

[45] G. Borowik, K. Kowalski, and C. Jankowski, "Novel approach to data discretization," *XXXVI Symp. Photonics Appl. Astron. Commun. Ind. High-Energy Phys. Exp. (Wilga 2015)*, vol. 9662, p. 96623U, 2015.

[46] S. Ramírez-Gallego *et al.*, "Data discretization: Taxonomy and big data challenge," *Wiley Interdiscip. Rev. Data Min. Knowl. Discov.*, vol. 6, no. 1, pp. 5–21, 2016.

[47] S. García, J. Luengo, J. A. Sáez, V. López, and F. Herrera, "A survey of discretization techniques: Taxonomy and empirical analysis in supervised learning," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 25, no. 4, pp. 734–750, 2013.

[48] H. Liu, F. Hussain, C. L. Tan, and M. Dash, "Discretization: An enabling technique," *Data Min. Knowl. Discov.*, vol. 6, no. 4, pp. 393–423, 2002.

[49] V. Velychko, P. Stanchev, and K. Vanhoof, "Comparison of Discretization Methods for Preprocessing Data for Pyramidal Growing Network Classification Method," *Methods*, pp. 31–39.

[50] D. R. Tobergte and S. Curtis, *Data Mining know it all*, vol. 53, no. 9. 2013.

[51] R. Kerber, "Chimerge: Discretization of numeric attributes," *Proc. tenth Natl. Conf. Artif. Intell.*, pp. 123–128, 1992.

[52] M. Richeldi, M; Rossotto, "Class-driven statistical discretization of continuous attributes (extended abstract).pdf," in *In European Conference on Machine Learning*, 1995, pp. 335–338.

[53] A. A. Freitas and S. H. Lavington, "Speeding up knowledge discovery in large relational databases by means of a new discretization algorithm," in *Lecture Notes in Computer Science*, 1996, pp. 124–133.

[54] J. R. Quinlan, “C4.5 Programs for Machine Learning.pdf,” *Morgan Kaufmann*, vol. 5, no. 3. p. 302, 1993.

[55] U. Fayyad and K. Irani, “Multi-Interval Discretization of Continuous-Valued Attributes for Classification Learning,” *Proc. 13th Int. Jt. Conf. Mach. Learn.*, pp. 1022–1027, 1993.

[56] D. Ju-Long, “Control problems of grey systems,” *Syst. Control Lett.*, vol. 1, no. 5, pp. 288–294, 1982.

[57] B. F. Yıldırım and E. Önder, *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*, 2nd ed. 2015.

[58] C. Chang, P. Liu, and C. Wei, “Failure mode and effects analysis using grey theory,” *Integr. Manuf. Syst.*, vol. 12, no. 3, pp. 211–216, 2001.

[59] C. Wei and Y. Lee, “Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory,” *Ind. Eng.*, 1998.

[60] C. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State of the Art Survey*, vol. 1. New York, New York, USA, 1981.

[61] H.-C. Liu, J.-X. You, M.-M. Shan, and L.-N. Shao, “Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach,” *Int. J. Syst. Sci.*, vol. 45, no. 10, pp. 2012–2030, 2014.

[62] M. Braglia, M. Frosolini, and R. Montanari, “Fuzzy TOPSIS Approach for Failure Mode, Effects and Criticality Analysis,” *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 19, no. 5, pp. 425–443, 2003.

[63] A. Sachdeva and D. Kumar, “Multi-factor failure mode critically analysis using TOPSIS Anish,” *Princessaliceadoptionhome.Org*, vol. 9, no. 8, pp. 1–9, 2009.

[64] W. Song, X. Ming, Z. Wu, and B. Zhu, “Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS,” *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 26, no. 12, pp. 1172–1186, 2013.

[65] S. Helvacioglu and E. Ozen, “Fuzzy based failure modes and effect analysis for yacht system design,” *Ocean Eng.*, vol. 79, pp. 131–141, 2014.

[66] S. Opricovic, “Multicriteria optimization of civil engineering systems,” *Fac. Civ. Eng. Belgrade*, 1998.

[67] H.-C. Liu, L. Liu, N. Liu, and L.-X. Mao, “Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 17, pp. 12926–12934, 2012.

[68] I. Emovon, R. A. Norman, A. J. Murphy, and K. Pazouki, “An integrated multicriteria decision making methodology using compromise solution methods for prioritising risk of marine machinery systems,” *Ocean Eng.*, vol. 105, pp. 92–103, 2015.

[69] H. Safari, Z. Faraji, and S. Majidian, “Identifying and evaluating enterprise architecture risks using FMEA and fuzzy VIKOR,” *J. Intell. Manuf.*, vol. 27, no. 2, pp. 475–486, 2016.

[70] S. G. Eick, M. C. Nelson, and J. D. Schmidt, “Graphical analysis of computer log files,” *Commun. ACM*, vol. 37, no. 12, pp. 50–56, 1994.

[71] R. Finlayson, D. Cheriton, R. Finlayson, and D. Cheriton, “Log files: an extended file service exploiting write-once storage,” in *Proceedings of the eleventh ACM Symposium on Operating systems principles - SOSP ’87*, 1987, vol. 21, no. 5, pp.

139–148.

[72] K. Jeon, S. Park, S. Chun, and J. Kim, “A Study on the Big Data Log Analysis for Security,” vol. 10, no. 1, pp. 13–20, 2016.

[73] T. Sipola, A. Juvonen, and J. Lehtonen, “Anomaly detection from network logs using diffusion maps,” vol. 363 AICT, no. PART 1, pp. 172–181, 2011.

[74] M. Wurzenberger, F. Skopik, G. Settanni, and W. Scherrer, “Complex log file synthesis for rapid sandbox-benchmarking of security- and computer network analysis tools,” *Inf. Syst.*, vol. 60, pp. 13–33, 2016.

[75] D. Nguyen, “Failure Modes and Effects Analysis For Software Reliability,” in *Annual RELIABILITY and MAINTAINABILITY Symposium*, 2001, pp. 219–222.

[76] B. Russo, G. Succi, and W. Pedrycz, “Mining system logs to learn error predictors: a case study of a telemetry system,” *Empir. Softw. Eng.*, vol. 20, no. 4, pp. 879–927, 2014.

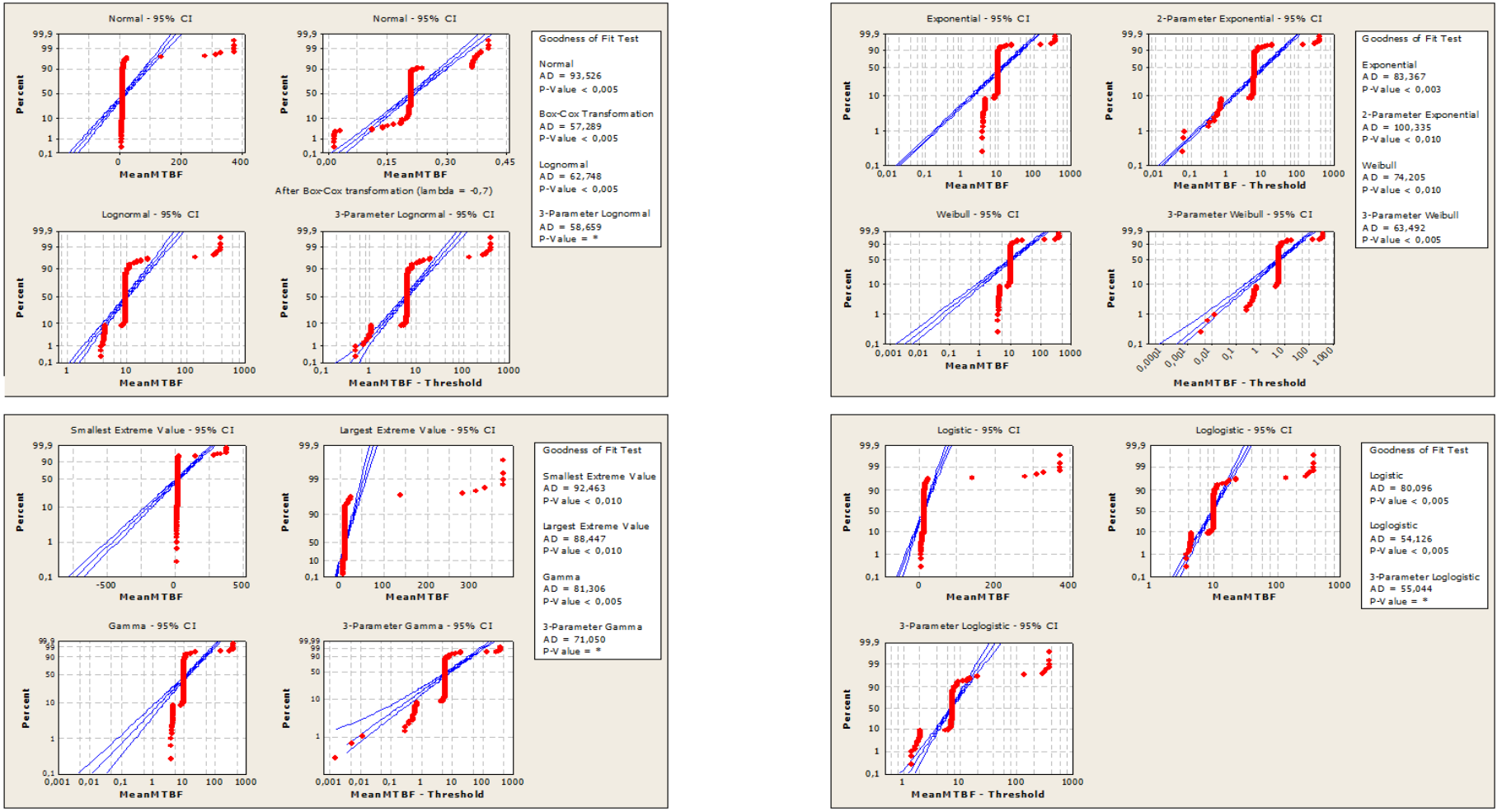
[77] I. Mavridis and H. Karatza, “Performance evaluation of cloud-based log file analysis with Apache Hadoop and Apache Spark,” *J. Syst. Softw.*, vol. 125, pp. 133–151, 2017.

[78] R. Agrawal, T. Imielinski, and A. Swami, “Mining Association in Large Databases,” *Proc. 1993 ACM SIGMOD Int. Conf. Manag. data - SIGMOD ’93*, pp. 207–216, 1993.

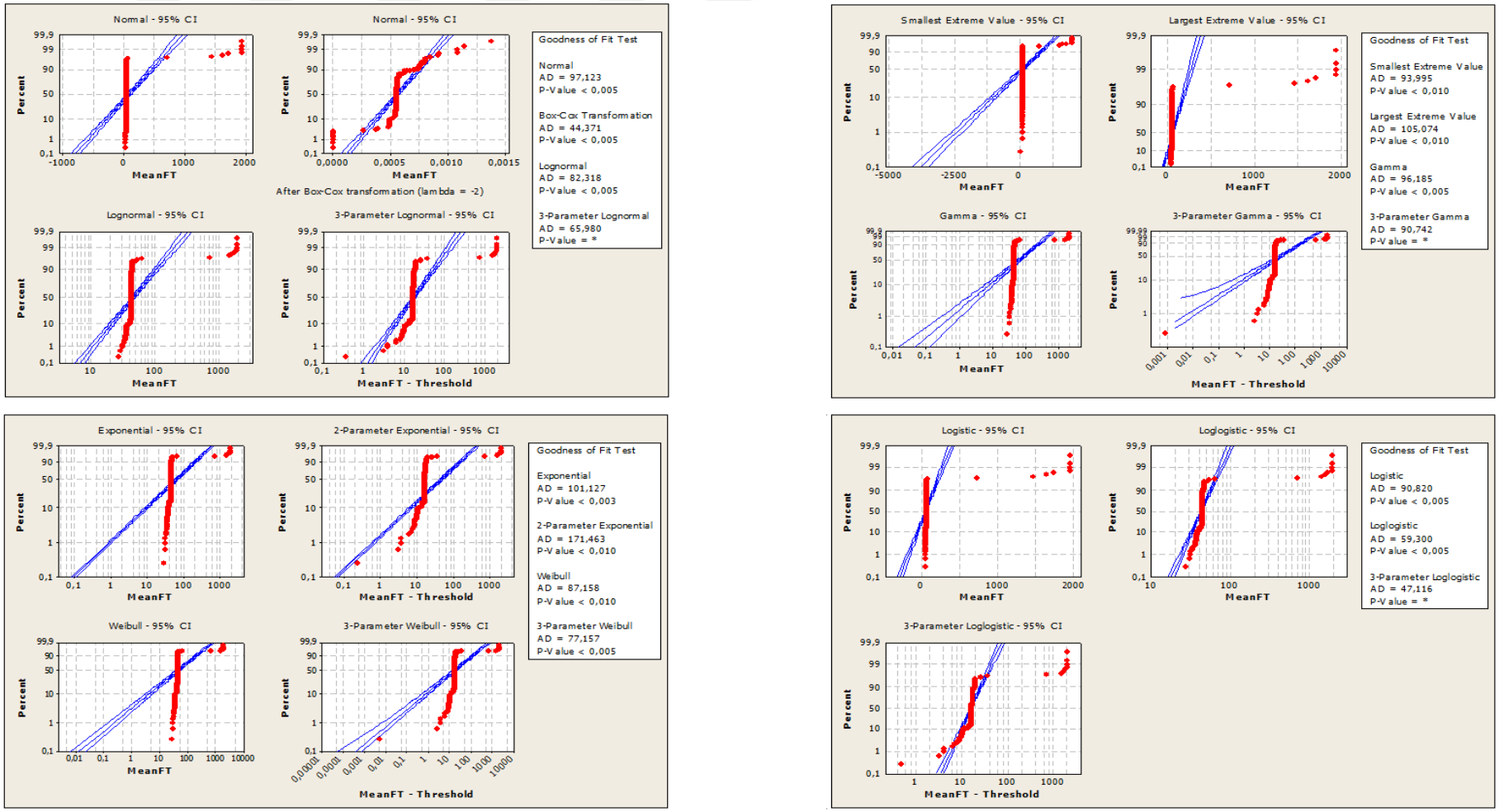
[79] Hamdani and R. Wardoyo, “The complexity calculation for group decision making using TOPSIS algorithm,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1755, 2016.

# EKLER

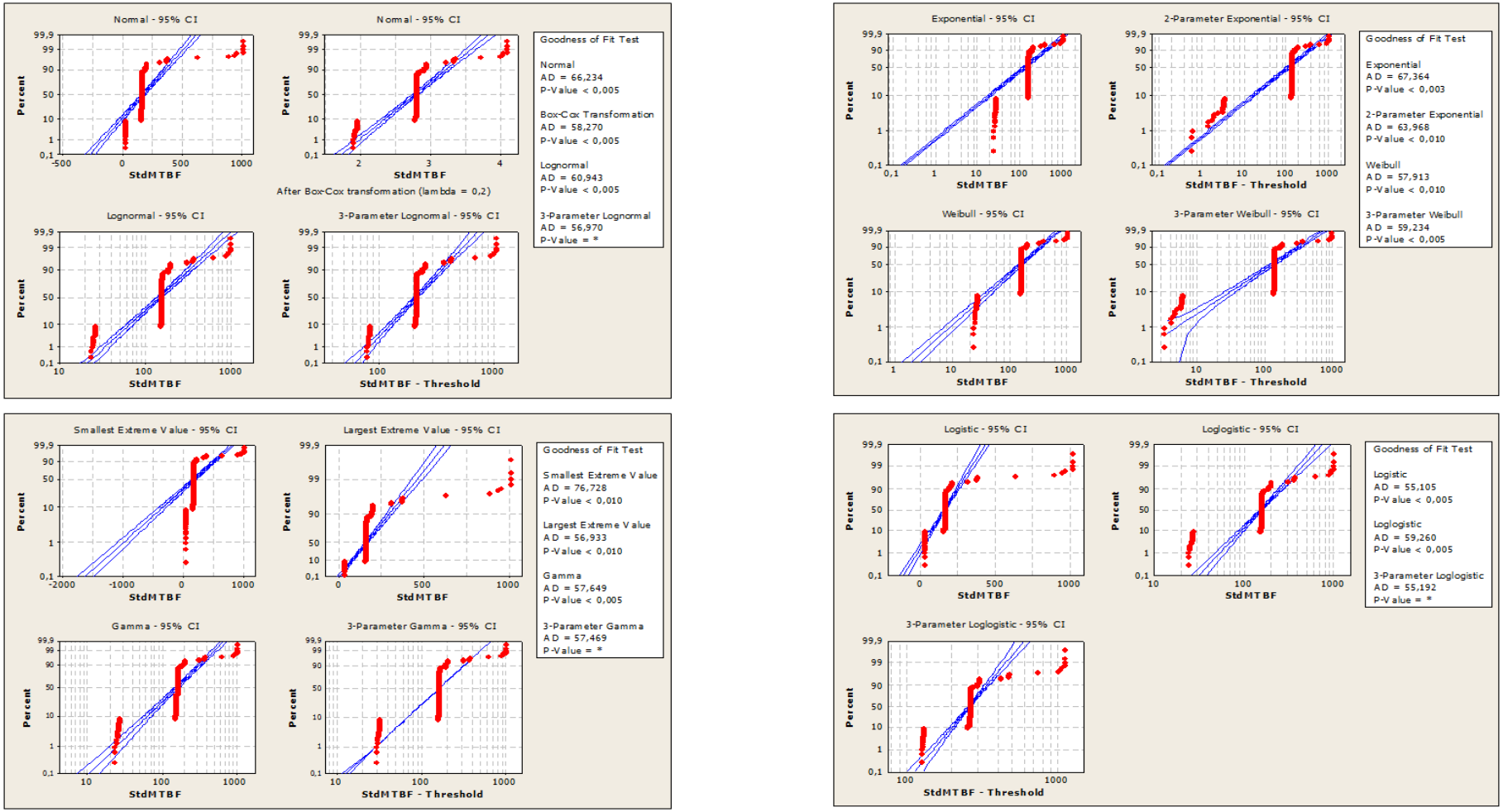
## Ek A – Metriklerin Dağılımları



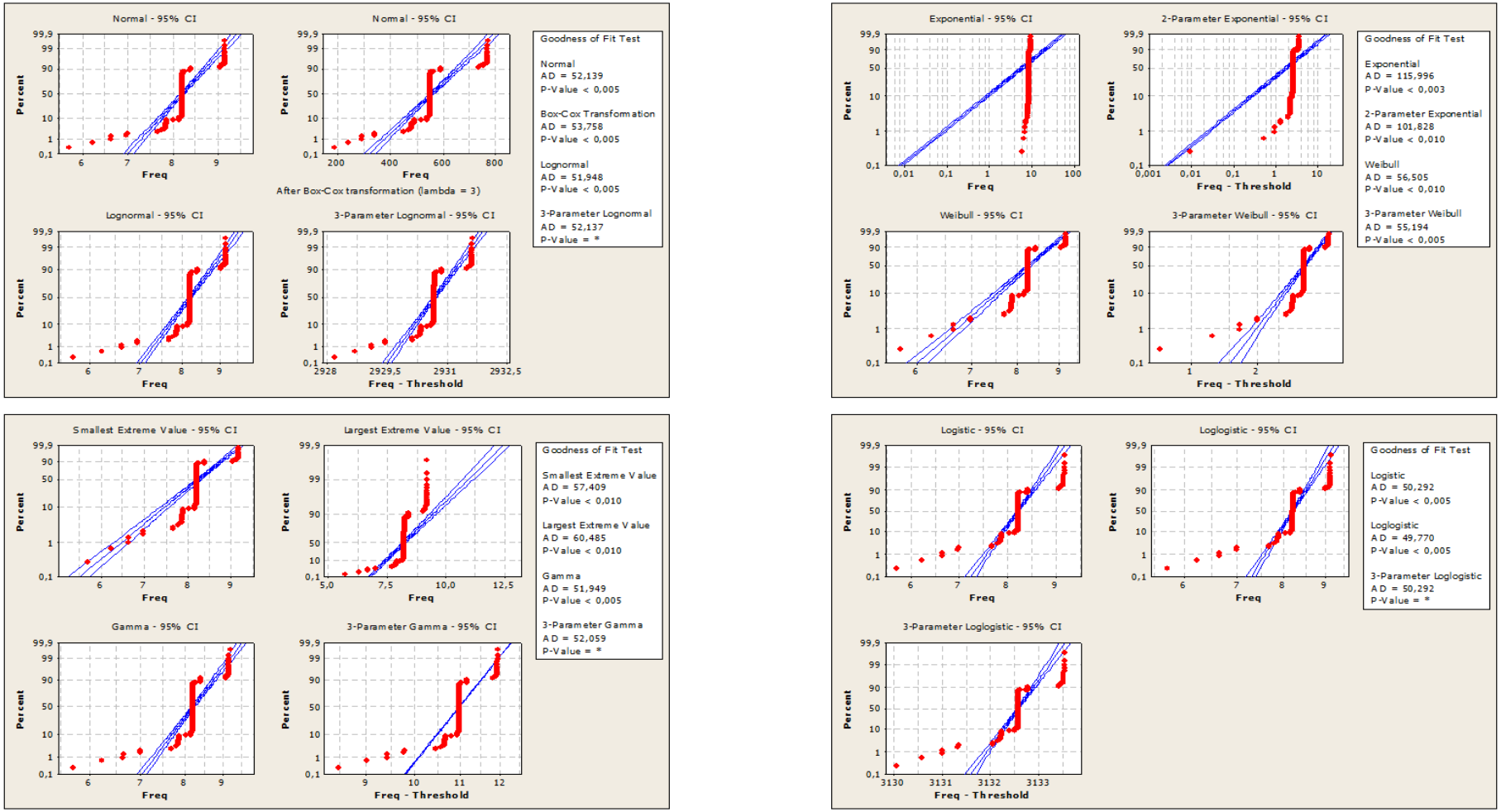

**Şekil 17. Hatalar Arası Geçen Süre için Uyum Derecesi Grafikleri**



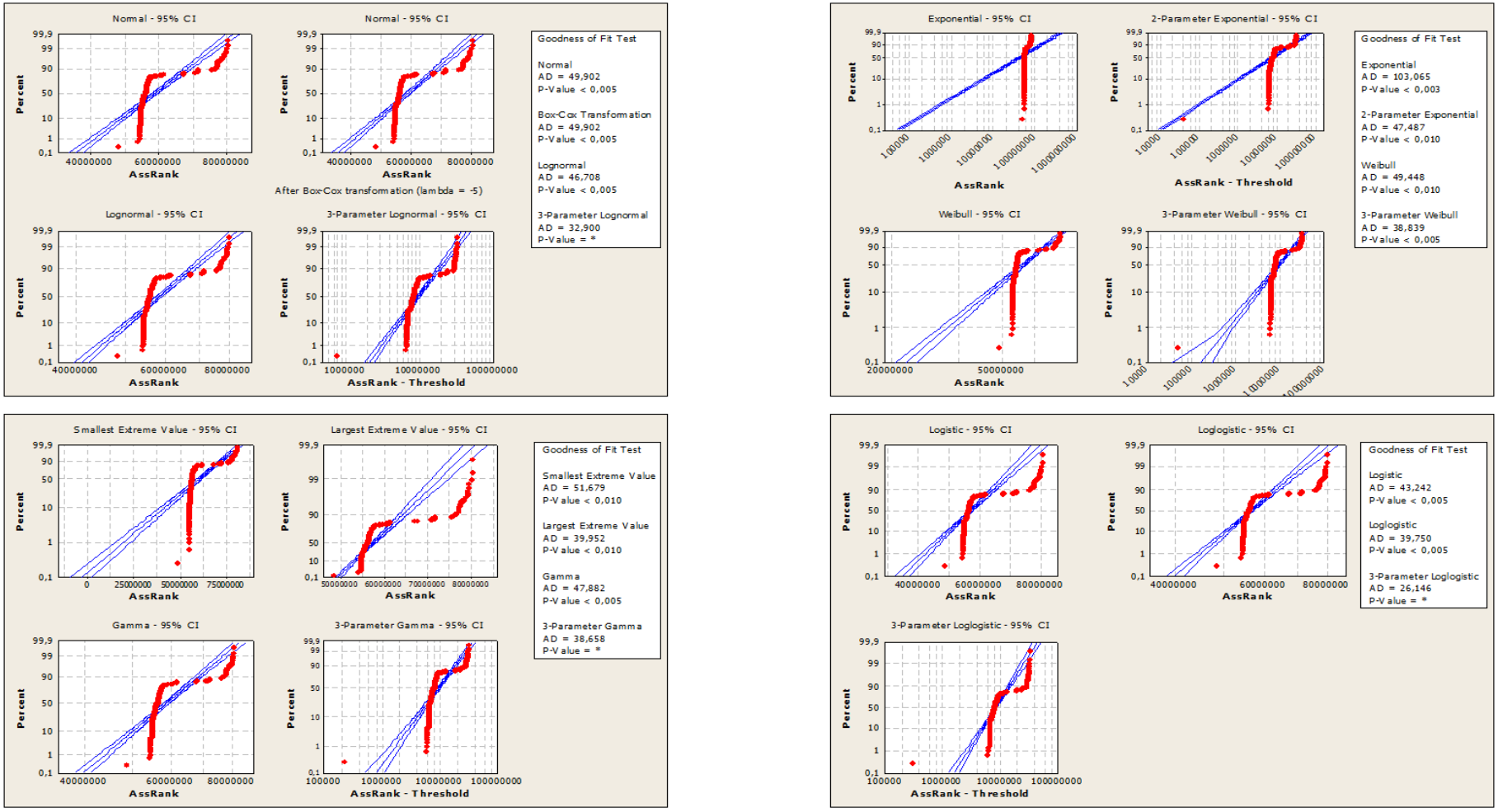

**Şekil 18. Hataları Devam Etme Süresi için Uyum Derecesi Grafikleri**




**Şekil 19. Hatalar Arasın Zamanın Standart Sapması için Uyum Derecesi Grafikleri**




**Şekil 20. Frekans için Uyum Derecesi Grafikleri**




**Şekil 21. Hataların Birlikteliği için Uyum Derecesi Grafikleri**

## Ek B - Geliştirilmiş Metotlar için Her İterasyondan Sonraki Grupların Eleman Sayıları

**Tablo 19. Hatalar Arası Zamanın Ortalaması için Geliştirilmiş Yöntemler ile Yapılan İterasyonlar Sonrası Grup Eleman Sayılarının Değişimi**

| Yinelemeli Eşit Frekanslı Veri Ayrıklaştırma Yöntemi | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 16 | 24 | 41 | 23 | 23 | 32 | 26 | 43 | 9 | 23 |
| 7 | 22 | 52 | 23 | 17 | 38 | 33 | 38 | 7 | 23 |
| 6 | 13 | 42 | 43 | 17 | 38 | 42 | 30 | 6 | 23 |
| 6 | 12 | 13 | 73 | 17 | 38 | 48 | 24 | 6 | 23 |
| 6 | 11 | 12 | 54 | 38 | 38 | 53 | 19 | 6 | 23 |
| 6 | 11 | 12 | 41 | 51 | 39 | 57 | 14 | 6 | 23 |
| 6 | 11 | 12 | 32 | 60 | 47 | 49 | 15 | 5 | 23 |
| 6 | 11 | 12 | 32 | 60 | 56 | 49 | 6 | 5 | 23 |
| 6 | 11 | 12 | 32 | 60 | 64 | 44 | 3 | 5 | 23 |
| 6 | 11 | 12 | 32 | 60 | 66 | 42 | 3 | 5 | 23 |
| Yinelemeli Eşit Aralıklı Veri Ayrıklaştırma Yöntemi | | | | | | | | | |
| 23 | 0 | 9 | 220 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 |
| 23 | 0 | 7 | 212 | 11 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| 23 | 0 | 7 | 212 | 11 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 |

**Tablo 20. Hataların Birlikteliği için Geliştirilmiş Yöntemler ile Yapılan İterasyonlar Sonrası Grup Eleman Sayılarının Değişimi**

| Yinelemeli Eşit Frekanslı Veri Ayrıklaştırma Yöntemi | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 4 | 54 | 18 | 33 | 21 | 27 | 29 | 35 | 9 | 30 |
| 2 | 57 | 18 | 35 | 20 | 28 | 35 | 27 | 9 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 19 | 32 | 35 | 23 | 9 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 19 | 37 | 32 | 22 | 8 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 21 | 41 | 30 | 19 | 7 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 23 | 46 | 31 | 11 | 7 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 23 | 50 | 31 | 9 | 5 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 23 | 53 | 29 | 10 | 3 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 23 | 57 | 25 | 10 | 3 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 23 | 58 | 24 | 10 | 3 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 23 | 58 | 25 | 9 | 3 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 23 | 59 | 25 | 8 | 3 | 30 |
| 2 | 56 | 19 | 36 | 24 | 58 | 26 | 7 | 3 | 30 |
| Yinelemeli Eşit Aralıklı Veri Ayrıklaştırma Yöntemi | | | | | | | | | |
| 1 | 60 | 156 | 7 | 3 | 2 | 1 | 0 | 9 | 21 |
| 1 | 85 | 130 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | 17 | 13 |
| 1 | 103 | 112 | 5 | 6 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |
| 1 | 111 | 103 | 6 | 6 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |
| 1 | 115 | 98 | 7 | 6 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |
| 1 | 115 | 96 | 9 | 6 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 115 | 93 | 12 | 6 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |
| 1 | 114 | 89 | 16 | 7 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |
| 1 | 111 | 84 | 24 | 7 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |
| 1 | 110 | 83 | 26 | 7 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |
| 1 | 108 | 85 | 26 | 7 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |
| 1 | 108 | 85 | 26 | 7 | 2 | 1 | 0 | 19 | 11 |

**Tablo 21. Frekans için Geliştirilmiş Yöntemler ile Yapılan İterasyonlar Sonrası Grup Eleman Sayılarının Değişimi**

| Yinelemeli Eşit Frekanslı Veri Ayrıklaştırma Yöntemi | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 17 | 17 | 44 | 30 | 24 | 22 | 31 | 38 | 14 | 23 |
| 8 | 17 | 45 | 38 | 24 | 22 | 31 | 45 | 7 | 23 |
| 6 | 19 | 9 | 74 | 24 | 22 | 38 | 41 | 4 | 23 |
| 6 | 18 | 9 | 45 | 54 | 38 | 34 | 30 | 3 | 23 |
| 6 | 18 | 8 | 29 | 71 | 49 | 39 | 14 | 3 | 23 |
| 6 | 18 | 7 | 16 | 85 | 53 | 41 | 8 | 3 | 23 |
| 6 | 18 | 6 | 4 | 74 | 77 | 43 | 6 | 3 | 23 |
| 6 | 18 | 5 | 4 | 62 | 90 | 44 | 5 | 3 | 23 |
| 6 | 18 | 4 | 5 | 45 | 107 | 45 | 4 | 3 | 23 |
| 6 | 18 | 2 | 8 | 37 | 115 | 45 | 4 | 3 | 23 |
| Yinelemeli Eşit Aralıklı Veri Ayrıklaştırma Yöntemi | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 3 | 16 | 212 | 0 | 23 |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 3 | 16 | 212 | 0 | 23 |

## Ek C – Farklı Yöntemler ile Elde Edilen Risk Sıralamaları (Tüm Hata Türleri)

**Tablo 22. Farklı Yöntemler ile Elde Edilen Risk Sıralamaları Karşılaştırmaları ve RÖS Değerleri**

| RÖS | AY | AY – RÖS | GRA | GİA - RÖS | TOPSIS | TOPSIS - RÖS | VIKOR | VIKOR-RÖS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 23002596 | 96,27383 | 11601817 | 0,50201 | 12001849 | 0,971226 | 23102605 | 0,000212 |
| 2 | 23002597 | 96,27383 | 11601816 | 0,502009 | 11601817 | 0,970438 | 23102606 | 0,001599 |
| 3 | 23102605 | 96,27383 | 12001849 | 0,502007 | 11601816 | 0,970392 | 12001849 | 0,011378 |
| 4 | 23102606 | 96,27383 | 23102605 | 0,501924 | 23102605 | 0,919509 | 11601817 | 0,013699 |
| 5 | 12001849 | 89,99818 | 23102606 | 0,501922 | 23102606 | 0,917646 | 11601816 | 0,014161 |
| 6 | 11601816 | 87,44869 | 23002597 | 0,501875 | 23002597 | 0,886733 | 23002597 | 0,032573 |
| 7 | 11601817 | 87,44869 | 23002596 | 0,501874 | 23002596 | 0,886104 | 23002596 | 0,032858 |
| 8 | 4301020 | 85,29144 | 5001216 | 0,50178 | 5001216 | 0,851953 | 5001216 | 0,119326 |
| 9 | 4601113 | 85,29144 | 5001219 | 0,50178 | 5001219 | 0,851914 | 5001219 | 0,11984 |
| 10 | 4701137 | 85,29144 | 4701137 | 0,501774 | 4701137 | 0,849336 | 4601113 | 0,124918 |
| 11 | 5001216 | 85,29144 | 4601113 | 0,501763 | 4601113 | 0,840605 | 4701137 | 0,126153 |
| 12 | 5001219 | 85,29144 | 4301020 | 0,501732 | 1200138 | 0,826268 | 4301020 | 0,146547 |
| 13 | 1200109 | 83,52641 | 1200138 | 0,501732 | 1200134 | 0,825931 | 1300171 | 0,156048 |
| 14 | 1200134 | 83,52641 | 1200134 | 0,501731 | 1100069 | 0,824212 | 1200138 | 0,159307 |
| 15 | 1200138 | 83,52641 | 1300171 | 0,501729 | 1300171 | 0,824073 | 1200134 | 0,15955 |
| 16 | 1200139 | 83,52641 | 1100069 | 0,501727 | 1000059 | 0,822034 | 1300144 | 0,160542 |
| 17 | 1300144 | 83,52641 | 1000059 | 0,501724 | 4301020 | 0,821799 | 1300172 | 0,161187 |
| 18 | 1300171 | 83,52641 | 1300144 | 0,501723 | 1300144 | 0,820623 | 1302294 | 0,162393 |
| 19 | 1300172 | 83,52641 | 1300172 | 0,50172 | 1300172 | 0,818838 | 1300784 | 0,162542 |
| 20 | 1300784 | 83,52641 | 1302294 | 0,50172 | 1302294 | 0,818583 | 1200139 | 0,162632 |
| 21 | 1302294 | 83,52641 | 1200109 | 0,501718 | 1200109 | 0,818057 | 1100069 | 0,163849 |
| 22 | 1000059 | 82,15361 | 1200139 | 0,501717 | 1200139 | 0,817002 | 1200109 | 0,164247 |
| 23 | 1100069 | 82,15361 | 1300784 | 0,501717 | 1300784 | 0,816835 | 1000059 | 0,165755 |
| 24 | 23703999 | 71,06011 | 25204012 | 0,501102 | 25204012 | 0,366562 | 25204012 | 0,538703 |
| 25 | 25204012 | 70,14613 | 22003995 | 0,501035 | 22003995 | 0,325332 | 22003995 | 0,584069 |
| 26 | 21903998 | 67,33394 | 22904001 | 0,501032 | 21903998 | 0,322751 | 22904001 | 0,585655 |
| 27 | 22003995 | 67,33394 | 21903998 | 0,501032 | 22904001 | 0,321862 | 21903998 | 0,586436 |
| 28 | 22103997 | 67,33394 | 22103997 | 0,501029 | 22103997 | 0,321275 | 22103997 | 0,587778 |
| 29 | 22904001 | 67,33394 | 23703999 | 0,501005 | 23703999 | 0,302231 | 23703999 | 0,60234 |
| 30 | 23303369 | 67,33394 | 23303369 | 0,50099 | 23303369 | 0,295275 | 23303369 | 0,614125 |
| 31 | 23804000 | 59,49145 | 22204002 | 0,500975 | 22204002 | 0,285418 | 22204002 | 0,623863 |
| 32 | 23903996 | 59,49145 | 23903996 | 0,500963 | 23202616 | 0,278235 | 23903996 | 0,62754 |
| 33 | 21804005 | 55,27565 | 23202616 | 0,500959 | 23202615 | 0,277689 | 23804000 | 0,632028 |
| 34 | 21904029 | 55,27565 | 23804000 | 0,500958 | 603799 | 0,274356 | 23202616 | 0,637167 |
| 35 | 22004008 | 55,27565 | 23202615 | 0,500958 | 603777 | 0,273063 | 23202615 | 0,637928 |
| 36 | 22104017 | 55,27565 | 22004008 | 0,500927 | 23903996 | 0,272717 | 22004008 | 0,656463 |
| 37 | 22204002 | 55,27565 | 21804005 | 0,500925 | 603794 | 0,272531 | 21804005 | 0,65766 |
| 38 | 22704018 | 55,27565 | 21904029 | 0,500924 | 603792 | 0,272522 | 22904040 | 0,658773 |
| 39 | 22904040 | 55,27565 | 22904040 | 0,500923 | 603725 | 0,272493 | 21904029 | 0,658799 |
| 40 | 23202615 | 54,85131 | 22104017 | 0,500922 | 603796 | 0,272466 | 22104017 | 0,659349 |
| 41 | 23202616 | 54,85131 | 22704018 | 0,500919 | 603778 | 0,272465 | 22704018 | 0,66086 |
| 42 | 23704038 | 48,97565 | 2803991 | 0,500903 | 603785 | 0,271901 | 23604006 | 0,676372 |

| RÖS | AY | AY – RÖS | GRA | GİA - RÖS | TOPSIS | TOPSIS - RÖS | VIKOR | VIKOR-RÖS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 43 | 23804039 | 48,97565 | 603799 | 0,500901 | 603780 | 0,271846 | 25004013 | 0,688337 |
| 44 | 23904015 | 48,97565 | 603796 | 0,500899 | 603702 | 0,271824 | 24904011 | 0,689373 |
| 45 | 24104009 | 48,97565 | 603794 | 0,500899 | 2803991 | 0,271542 | 24104009 | 0,692367 |
| 46 | 24204020 | 48,97565 | 603792 | 0,500898 | 603787 | 0,271313 | 24204020 | 0,692591 |
| 47 | 24904011 | 48,97565 | 603777 | 0,500898 | 603784 | 0,271274 | 23904015 | 0,69322 |
| 48 | 25004013 | 48,97565 | 603725 | 0,500898 | 603770 | 0,271195 | 23704038 | 0,693237 |
| 49 | 23604006 | 45,24948 | 603778 | 0,500897 | 603764 | 0,270758 | 2803991 | 0,693583 |
| 50 | 603589 | 43,01786 | 603785 | 0,500897 | 603685 | 0,270741 | 23804039 | 0,694976 |
| 51 | 603590 | 43,01786 | 603787 | 0,500897 | 603790 | 0,270704 | 603799 | 0,69701 |
| 52 | 603698 | 43,01786 | 603780 | 0,500896 | 603782 | 0,270671 | 603796 | 0,698643 |
| 53 | 603726 | 43,01786 | 603784 | 0,500896 | 603709 | 0,270641 | 603794 | 0,698747 |
| 54 | 603786 | 43,01786 | 603790 | 0,500896 | 603771 | 0,270607 | 603792 | 0,698929 |
| 55 | 603788 | 43,01786 | 603698 | 0,500896 | 603758 | 0,270113 | 603725 | 0,699516 |
| 56 | 603789 | 43,01786 | 603702 | 0,500896 | 23804000 | 0,270072 | 603777 | 0,699745 |
| 57 | 603791 | 43,01786 | 603782 | 0,500895 | 603714 | 0,270041 | 603785 | 0,699756 |
| 58 | 603793 | 43,01786 | 23604006 | 0,500895 | 603708 | 0,270039 | 603787 | 0,699893 |
| 59 | 603795 | 43,01786 | 603764 | 0,500895 | 603779 | 0,270035 | 603698 | 0,700066 |
| 60 | 603797 | 43,01786 | 603709 | 0,500895 | 603701 | 0,270021 | 603778 | 0,700087 |
| 61 | 603798 | 43,01786 | 603770 | 0,500894 | 603773 | 0,270006 | 603790 | 0,700481 |
| 62 | 2803991 | 43,01786 | 603786 | 0,500894 | 603698 | 0,26982 | 603784 | 0,700697 |
| 63 | 603594 | 41,64506 | 603771 | 0,500894 | 603759 | 0,269505 | 603780 | 0,700879 |
| 64 | 603595 | 41,64506 | 603714 | 0,500894 | 603783 | 0,269469 | 603782 | 0,701136 |
| 65 | 603596 | 41,64506 | 603708 | 0,500894 | 603744 | 0,269446 | 603702 | 0,701354 |
| 66 | 603597 | 41,64506 | 603779 | 0,500894 | 603742 | 0,269443 | 603786 | 0,701408 |
| 67 | 603598 | 41,64506 | 603783 | 0,500894 | 603776 | 0,269439 | 603791 | 0,701692 |
| 68 | 603599 | 41,64506 | 603701 | 0,500894 | 603711 | 0,269437 | 603798 | 0,701742 |
| 69 | 603600 | 41,64506 | 603791 | 0,500893 | 603752 | 0,269431 | 603709 | 0,701762 |
| 70 | 603601 | 41,64506 | 603726 | 0,500893 | 603745 | 0,269429 | 603764 | 0,701801 |
| 71 | 603602 | 41,64506 | 603773 | 0,500893 | 603710 | 0,269427 | 603726 | 0,701858 |
| 72 | 603603 | 41,64506 | 603788 | 0,500893 | 603738 | 0,269404 | 603788 | 0,701944 |
| 73 | 603681 | 41,64506 | 603776 | 0,500893 | 603737 | 0,269402 | 603783 | 0,701955 |
| 74 | 603682 | 41,64506 | 603711 | 0,500893 | 603769 | 0,269385 | 603714 | 0,702141 |
| 75 | 603692 | 41,64506 | 603758 | 0,500893 | 603731 | 0,269382 | 603708 | 0,702187 |
| 76 | 603693 | 41,64506 | 603798 | 0,500893 | 603786 | 0,269031 | 603779 | 0,70228 |
| 77 | 603694 | 41,64506 | 603710 | 0,500893 | 603762 | 0,26892 | 603770 | 0,702354 |
| 78 | 603697 | 41,64506 | 603781 | 0,500893 | 603781 | 0,268848 | 603789 | 0,70237 |
| 79 | 603701 | 41,64506 | 603789 | 0,500892 | 603775 | 0,268833 | 603771 | 0,702482 |
| 80 | 603702 | 41,64506 | 603775 | 0,500892 | 603707 | 0,268821 | 603795 | 0,702532 |
| 81 | 603703 | 41,64506 | 603759 | 0,500892 | 603712 | 0,268819 | 603793 | 0,702544 |
| 82 | 603706 | 41,64506 | 603707 | 0,500892 | 603703 | 0,268783 | 603701 | 0,702558 |
| 83 | 603707 | 41,64506 | 603769 | 0,500892 | 603768 | 0,268779 | 603776 | 0,702573 |
| 84 | 603708 | 41,64506 | 603712 | 0,500892 | 603749 | 0,26877 | 603711 | 0,702601 |
| 85 | 603709 | 41,64506 | 603793 | 0,500892 | 603605 | 0,268665 | 603781 | 0,702775 |
| 86 | 603710 | 41,64506 | 603795 | 0,500892 | 603791 | 0,268435 | 603710 | 0,70281 |
| 87 | 603711 | 41,64506 | 603762 | 0,500892 | 603726 | 0,268427 | 603773 | 0,702882 |

| RÖS | AY | AY – RÖS | GRA | GİA - RÖS | TOPSIS | TOPSIS - RÖS | VIKOR | VIKOR-RÖS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 88 | 603712 | 41,64506 | 603766 | 0,500892 | 603788 | 0,268422 | 603589 | 0,703003 |
| 89 | 603713 | 41,64506 | 603589 | 0,500892 | 603694 | 0,268394 | 603775 | 0,703072 |
| 90 | 603714 | 41,64506 | 603703 | 0,500891 | 603766 | 0,268344 | 603758 | 0,703096 |
| 91 | 603715 | 41,64506 | 603694 | 0,500891 | 603693 | 0,268314 | 603707 | 0,70332 |
| 92 | 603716 | 41,64506 | 603768 | 0,500891 | 603682 | 0,268297 | 603712 | 0,703367 |
| 93 | 603717 | 41,64506 | 603749 | 0,500891 | 603741 | 0,268247 | 603766 | 0,703528 |
| 94 | 603718 | 41,64506 | 603693 | 0,500891 | 603743 | 0,268231 | 603759 | 0,703619 |
| 95 | 603725 | 41,64506 | 603744 | 0,500891 | 603765 | 0,268178 | 603762 | 0,703663 |
| 96 | 603741 | 41,64506 | 603742 | 0,500891 | 603748 | 0,268166 | 603769 | 0,703704 |
| 97 | 603742 | 41,64506 | 603682 | 0,500891 | 603761 | 0,268141 | 603590 | 0,703756 |
| 98 | 603743 | 41,64506 | 603752 | 0,500891 | 603757 | 0,268122 | 603694 | 0,703924 |
| 99 | 603744 | 41,64506 | 603745 | 0,500891 | 603753 | 0,268096 | 603703 | 0,704114 |
| 100 | 603745 | 41,64506 | 603765 | 0,500891 | 603686 | 0,267931 | 603693 | 0,704141 |
| 101 | 603746 | 41,64506 | 603748 | 0,50089 | 603668 | 0,267913 | 603768 | 0,704194 |
| 102 | 603748 | 41,64506 | 603738 | 0,50089 | 603656 | 0,267898 | 603749 | 0,704376 |
| 103 | 603749 | 41,64506 | 603774 | 0,50089 | 603639 | 0,267834 | 603682 | 0,70449 |
| 104 | 603750 | 41,64506 | 603737 | 0,50089 | 603789 | 0,267819 | 603765 | 0,704588 |
| 105 | 603751 | 41,64506 | 603750 | 0,50089 | 603798 | 0,267782 | 603797 | 0,704731 |
| 106 | 603752 | 41,64506 | 603590 | 0,50089 | 603750 | 0,267691 | 603774 | 0,704742 |
| 107 | 603753 | 41,64506 | 603685 | 0,50089 | 603774 | 0,267588 | 603748 | 0,70483 |
| 108 | 603754 | 41,64506 | 603761 | 0,50089 | 603767 | 0,267574 | 603744 | 0,704885 |
| 109 | 603755 | 41,64506 | 603767 | 0,50089 | 603715 | 0,267566 | 603713 | 0,704931 |
| 110 | 603756 | 41,64506 | 603741 | 0,50089 | 603751 | 0,267563 | 603742 | 0,704957 |
| 111 | 603757 | 41,64506 | 603715 | 0,50089 | 603772 | 0,267562 | 603750 | 0,704962 |
| 112 | 603758 | 41,64506 | 603731 | 0,50089 | 603716 | 0,267556 | 603767 | 0,705022 |
| 113 | 603759 | 41,64506 | 603751 | 0,50089 | 603592 | 0,267541 | 603706 | 0,705049 |
| 114 | 603760 | 41,64506 | 603713 | 0,50089 | 603597 | 0,267492 | 603692 | 0,705069 |
| 115 | 603761 | 41,64506 | 603772 | 0,50089 | 603604 | 0,267453 | 603715 | 0,705194 |
| 116 | 603762 | 41,64506 | 603692 | 0,500889 | 603607 | 0,267436 | 603752 | 0,705222 |
| 117 | 603763 | 41,64506 | 603716 | 0,500889 | 603735 | 0,267416 | 603751 | 0,705256 |
| 118 | 603764 | 41,64506 | 603757 | 0,500889 | 603736 | 0,267413 | 603745 | 0,705257 |
| 119 | 603765 | 41,64506 | 603743 | 0,500889 | 603589 | 0,267232 | 603772 | 0,705291 |
| 120 | 603766 | 41,64506 | 603718 | 0,500889 | 603793 | 0,267229 | 603718 | 0,705347 |
| 121 | 603767 | 41,64506 | 603706 | 0,500889 | 603795 | 0,26716 | 603761 | 0,705359 |
| 122 | 603768 | 41,64506 | 603681 | 0,500889 | 603692 | 0,267102 | 603716 | 0,705397 |
| 123 | 603769 | 41,64506 | 603605 | 0,500889 | 603681 | 0,267076 | 603741 | 0,705556 |
| 124 | 603770 | 41,64506 | 603753 | 0,500889 | 603713 | 0,266997 | 603681 | 0,705623 |
| 125 | 603771 | 41,64506 | 603763 | 0,500889 | 603718 | 0,266976 | 603763 | 0,705706 |
| 126 | 603772 | 41,64506 | 603797 | 0,500888 | 603763 | 0,266959 | 603757 | 0,705774 |
| 127 | 603773 | 41,64506 | 603597 | 0,500888 | 603603 | 0,26685 | 603738 | 0,705818 |
| 128 | 603774 | 41,64506 | 603717 | 0,500888 | 603747 | 0,266836 | 603737 | 0,705861 |
| 129 | 603775 | 41,64506 | 603604 | 0,500887 | 603739 | 0,266782 | 603743 | 0,705899 |
| 130 | 603776 | 41,64506 | 603760 | 0,500887 | 603672 | 0,266773 | 603717 | 0,70627 |
| 131 | 603777 | 41,64506 | 603607 | 0,500887 | 603666 | 0,266699 | 603731 | 0,706302 |
| 132 | 603778 | 41,64506 | 603592 | 0,500887 | 603658 | 0,266696 | 603753 | 0,706331 |

| RÖS | AY | AY – RÖS | GRA | GİA - RÖS | TOPSIS | TOPSIS - RÖS | VIKOR | VIKOR-RÖS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 133 | 603779 | 41,64506 | 603595 | 0,500887 | 603663 | 0,266696 | 603605 | 0,706665 |
| 134 | 603780 | 41,64506 | 603603 | 0,500887 | 603655 | 0,266691 | 603597 | 0,706762 |
| 135 | 603781 | 41,64506 | 603735 | 0,500887 | 603664 | 0,266689 | 603685 | 0,706861 |
| 136 | 603782 | 41,64506 | 603736 | 0,500886 | 603635 | 0,266623 | 603760 | 0,707073 |
| 137 | 603783 | 41,64506 | 603747 | 0,500886 | 603651 | 0,266621 | 603595 | 0,707567 |
| 138 | 603784 | 41,64506 | 603756 | 0,500886 | 603640 | 0,266619 | 603604 | 0,707626 |
| 139 | 603785 | 41,64506 | 603755 | 0,500886 | 603641 | 0,266613 | 603756 | 0,707966 |
| 140 | 603787 | 41,64506 | 603602 | 0,500886 | 603642 | 0,266612 | 603607 | 0,707992 |
| 141 | 603790 | 41,64506 | 603740 | 0,500886 | 603645 | 0,266612 | 603603 | 0,70803 |
| 142 | 603792 | 41,64506 | 603594 | 0,500885 | 603717 | 0,266419 | 603592 | 0,708212 |
| 143 | 603794 | 41,64506 | 603686 | 0,500885 | 603706 | 0,266409 | 603755 | 0,708292 |
| 144 | 603796 | 41,64506 | 603739 | 0,500885 | 603760 | 0,266311 | 603594 | 0,708327 |
| 145 | 603799 | 41,64506 | 603600 | 0,500885 | 603595 | 0,266288 | 603747 | 0,708352 |
| 146 | 603591 | 40,66449 | 603596 | 0,500885 | 603602 | 0,266238 | 603735 | 0,708452 |
| 147 | 603592 | 40,66449 | 603668 | 0,500885 | 603740 | 0,266232 | 603736 | 0,708521 |
| 148 | 603604 | 40,66449 | 603754 | 0,500885 | 603732 | 0,266191 | 603602 | 0,708645 |
| 149 | 603605 | 40,66449 | 603732 | 0,500885 | 603687 | 0,266115 | 603596 | 0,708721 |
| 150 | 603606 | 40,66449 | 603639 | 0,500885 | 603674 | 0,266099 | 603740 | 0,708771 |
| 151 | 603607 | 40,66449 | 603656 | 0,500885 | 603673 | 0,266098 | 603754 | 0,708839 |
| 152 | 603608 | 40,66449 | 603608 | 0,500884 | 603677 | 0,266095 | 603600 | 0,708894 |
| 153 | 603609 | 40,66449 | 603601 | 0,500884 | 603660 | 0,266091 | 603746 | 0,709426 |
| 154 | 603610 | 40,66449 | 603613 | 0,500884 | 603676 | 0,266089 | 603739 | 0,709555 |
| 155 | 603611 | 40,66449 | 603746 | 0,500884 | 603679 | 0,266088 | 603601 | 0,709576 |
| 156 | 603612 | 40,66449 | 603599 | 0,500884 | 603657 | 0,266083 | 603608 | 0,70963 |
| 157 | 603613 | 40,66449 | 603610 | 0,500884 | 603629 | 0,266038 | 603599 | 0,709663 |
| 158 | 603614 | 40,66449 | 603606 | 0,500883 | 603647 | 0,266012 | 603732 | 0,709679 |
| 159 | 603615 | 40,66449 | 603609 | 0,500883 | 603590 | 0,265698 | 603598 | 0,70985 |
| 160 | 603616 | 40,66449 | 603672 | 0,500883 | 603756 | 0,265685 | 603613 | 0,710012 |
| 161 | 603617 | 40,66449 | 603734 | 0,500883 | 603755 | 0,26567 | 603610 | 0,710041 |
| 162 | 603618 | 40,66449 | 603666 | 0,500883 | 603600 | 0,265642 | 603686 | 0,710102 |
| 163 | 603619 | 40,66449 | 603658 | 0,500883 | 603695 | 0,265617 | 603606 | 0,710198 |
| 164 | 603620 | 40,66449 | 603598 | 0,500883 | 603608 | 0,265609 | 603609 | 0,710293 |
| 165 | 603621 | 40,66449 | 603663 | 0,500883 | 603613 | 0,265522 | 603734 | 0,710441 |
| 166 | 603622 | 40,66449 | 603635 | 0,500883 | 603688 | 0,265505 | 603668 | 0,710534 |
| 167 | 603623 | 40,66449 | 603733 | 0,500883 | 603675 | 0,265487 | 603616 | 0,710641 |
| 168 | 603624 | 40,66449 | 603655 | 0,500883 | 603670 | 0,265486 | 603733 | 0,710645 |
| 169 | 603625 | 40,66449 | 603616 | 0,500883 | 603671 | 0,265485 | 603639 | 0,710743 |
| 170 | 603626 | 40,66449 | 603664 | 0,500883 | 603665 | 0,265484 | 603618 | 0,710852 |
| 171 | 603627 | 40,66449 | 603651 | 0,500883 | 603662 | 0,265482 | 603656 | 0,710885 |
| 172 | 603628 | 40,66449 | 603687 | 0,500883 | 603669 | 0,265479 | 603617 | 0,711019 |
| 173 | 603629 | 40,66449 | 603640 | 0,500883 | 603625 | 0,265445 | 603619 | 0,711043 |
| 174 | 603630 | 40,66449 | 603641 | 0,500883 | 603627 | 0,265435 | 603612 | 0,711412 |
| 175 | 603631 | 40,66449 | 603618 | 0,500883 | 603630 | 0,265434 | 603672 | 0,711422 |
| 176 | 603632 | 40,66449 | 603642 | 0,500883 | 603648 | 0,265403 | 603687 | 0,711433 |
| 177 | 603633 | 40,66449 | 603645 | 0,500883 | 603650 | 0,265402 | 603666 | 0,711512 |

| RÖS | AY | AY – RÖS | GRA | GİA - RÖS | TOPSIS | TOPSIS - RÖS | VIKOR | VIKOR-RÖS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 178 | 603634 | 40,66449 | 603629 | 0,500883 | 603649 | 0,265397 | 603658 | 0,711582 |
| 179 | 603635 | 40,66449 | 603619 | 0,500883 | 603643 | 0,265396 | 603663 | 0,711589 |
| 180 | 603636 | 40,66449 | 603674 | 0,500883 | 603646 | 0,265385 | 603629 | 0,711617 |
| 181 | 603637 | 40,66449 | 603673 | 0,500883 | 603594 | 0,265085 | 603635 | 0,711645 |
| 182 | 603638 | 40,66449 | 603677 | 0,500883 | 603596 | 0,265066 | 603655 | 0,71169 |
| 183 | 603639 | 40,66449 | 603660 | 0,500882 | 603754 | 0,26506 | 603651 | 0,71171 |
| 184 | 603640 | 40,66449 | 603676 | 0,500882 | 603601 | 0,265026 | 603664 | 0,711745 |
| 185 | 603641 | 40,66449 | 603617 | 0,500882 | 603610 | 0,265005 | 603640 | 0,711748 |
| 186 | 603642 | 40,66449 | 603679 | 0,500882 | 603606 | 0,264998 | 603625 | 0,711766 |
| 187 | 603643 | 40,66449 | 603625 | 0,500882 | 603609 | 0,264994 | 603611 | 0,711768 |
| 188 | 603644 | 40,66449 | 603657 | 0,500882 | 603734 | 0,264987 | 603674 | 0,711821 |
| 189 | 603645 | 40,66449 | 603695 | 0,500882 | 603733 | 0,264978 | 603673 | 0,711843 |
| 190 | 603646 | 40,66449 | 603647 | 0,500882 | 603616 | 0,264909 | 603641 | 0,711891 |
| 191 | 603647 | 40,66449 | 603688 | 0,500882 | 603690 | 0,264907 | 603677 | 0,711912 |
| 192 | 603648 | 40,66449 | 603627 | 0,500882 | 603618 | 0,264899 | 603642 | 0,711913 |
| 193 | 603649 | 40,66449 | 603630 | 0,500882 | 603619 | 0,264891 | 603645 | 0,711921 |
| 194 | 603650 | 40,66449 | 603675 | 0,500882 | 603659 | 0,264873 | 603621 | 0,711938 |
| 195 | 603651 | 40,66449 | 603670 | 0,500882 | 603628 | 0,264823 | 603695 | 0,711981 |
| 196 | 603652 | 40,66449 | 603671 | 0,500882 | 603631 | 0,264813 | 603688 | 0,711995 |
| 197 | 603653 | 40,66449 | 603612 | 0,500882 | 603633 | 0,264804 | 603627 | 0,712001 |
| 198 | 603654 | 40,66449 | 603665 | 0,500882 | 603653 | 0,264802 | 603660 | 0,712009 |
| 199 | 603655 | 40,66449 | 603662 | 0,500882 | 603654 | 0,264794 | 603630 | 0,712015 |
| 200 | 603656 | 40,66449 | 603669 | 0,500882 | 603638 | 0,26479 | 603676 | 0,712054 |
| 201 | 603657 | 40,66449 | 603690 | 0,500882 | 603797 | 0,26472 | 603679 | 0,712078 |
| 202 | 603658 | 40,66449 | 603621 | 0,500881 | 603746 | 0,264558 | 603728 | 0,712091 |
| 203 | 603659 | 40,66449 | 603728 | 0,500881 | 603599 | 0,264438 | 603657 | 0,712211 |
| 204 | 603660 | 40,66449 | 603648 | 0,500881 | 603617 | 0,264376 | 603647 | 0,712227 |
| 205 | 603661 | 40,66449 | 603650 | 0,500881 | 603728 | 0,264328 | 603690 | 0,712258 |
| 206 | 603662 | 40,66449 | 603649 | 0,500881 | 603689 | 0,264299 | 603675 | 0,712415 |
| 207 | 603663 | 40,66449 | 603643 | 0,500881 | 603661 | 0,264267 | 603730 | 0,712421 |
| 208 | 603664 | 40,66449 | 603628 | 0,500881 | 603621 | 0,264265 | 603670 | 0,712448 |
| 209 | 603665 | 40,66449 | 603611 | 0,500881 | 603667 | 0,264264 | 603671 | 0,712471 |
| 210 | 603666 | 40,66449 | 603631 | 0,500881 | 603683 | 0,264255 | 603665 | 0,712506 |
| 211 | 603667 | 40,66449 | 603624 | 0,500881 | 603624 | 0,264241 | 603624 | 0,712507 |
| 212 | 603668 | 40,66449 | 603646 | 0,500881 | 603626 | 0,264227 | 603662 | 0,712543 |
| 213 | 603669 | 40,66449 | 603730 | 0,500881 | 603636 | 0,264192 | 603628 | 0,712602 |
| 214 | 603670 | 40,66449 | 603659 | 0,500881 | 603637 | 0,264168 | 603669 | 0,712604 |
| 215 | 603671 | 40,66449 | 603633 | 0,500881 | 603598 | 0,263845 | 603614 | 0,712611 |
| 216 | 603672 | 40,66449 | 603689 | 0,500881 | 603730 | 0,263836 | 603623 | 0,712722 |
| 217 | 603673 | 40,66449 | 603653 | 0,500881 | 603612 | 0,263703 | 603689 | 0,712757 |
| 218 | 603674 | 40,66449 | 603626 | 0,500881 | 603678 | 0,263659 | 603648 | 0,712759 |
| 219 | 603675 | 40,66449 | 603654 | 0,50088 | 603623 | 0,263645 | 603615 | 0,712763 |
| 220 | 603676 | 40,66449 | 603638 | 0,50088 | 603632 | 0,263585 | 603650 | 0,712783 |
| 221 | 603677 | 40,66449 | 603623 | 0,50088 | 603634 | 0,263579 | 603626 | 0,712816 |
| 222 | 603678 | 40,66449 | 603661 | 0,50088 | 603611 | 0,263171 | 603631 | 0,712843 |

| RÖS | AY | AY – RÖS | GRA | GİA - RÖS | TOPSIS | TOPSIS - RÖS | VIKOR | VIKOR-RÖS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 223 | 603679 | 40,66449 | 603667 | 0,50088 | 603620 | 0,263048 | 603649 | 0,712897 |
| 224 | 603680 | 40,66449 | 603636 | 0,50088 | 603680 | 0,263043 | 603643 | 0,712927 |
| 225 | 603683 | 40,66449 | 603614 | 0,50088 | 603729 | 0,262485 | 603620 | 0,712966 |
| 226 | 603684 | 40,66449 | 603620 | 0,50088 | 603614 | 0,262478 | 603633 | 0,713052 |
| 227 | 603685 | 40,66449 | 603683 | 0,50088 | 603615 | 0,262471 | 603659 | 0,713069 |
| 228 | 603686 | 40,66449 | 603615 | 0,50088 | 603622 | 0,262437 | 603653 | 0,713098 |
| 229 | 603687 | 40,66449 | 603637 | 0,500879 | 603652 | 0,262358 | 603646 | 0,713208 |
| 230 | 603688 | 40,66449 | 603678 | 0,500879 | 603644 | 0,25991 | 603654 | 0,713281 |
| 231 | 603689 | 40,66449 | 603632 | 0,500879 | 603684 | 0,259511 | 603638 | 0,713385 |
| 232 | 603690 | 40,66449 | 603622 | 0,500879 | 22004008 | 0,255235 | 603661 | 0,713507 |
| 233 | 603695 | 40,66449 | 603634 | 0,500879 | 21804005 | 0,254016 | 603622 | 0,713519 |
| 234 | 603696 | 40,66449 | 603729 | 0,500878 | 21904029 | 0,253769 | 603667 | 0,713593 |
| 235 | 603719 | 40,66449 | 603680 | 0,500878 | 603721 | 0,25327 | 603636 | 0,71364 |
| 236 | 603721 | 40,66449 | 603652 | 0,500877 | 22104017 | 0,252211 | 603683 | 0,713809 |
| 237 | 603728 | 40,66449 | 603684 | 0,500874 | 22904040 | 0,251615 | 603678 | 0,713998 |
| 238 | 603729 | 40,66449 | 603644 | 0,500874 | 603696 | 0,250335 | 603729 | 0,714013 |
| 239 | 603730 | 40,66449 | 25004013 | 0,500871 | 22704018 | 0,248897 | 603632 | 0,714118 |
| 240 | 603731 | 40,66449 | 24904011 | 0,50087 | 603719 | 0,248496 | 603637 | 0,714214 |
| 241 | 603732 | 40,66449 | 23704038 | 0,500867 | 603591 | 0,245005 | 603634 | 0,714264 |
| 242 | 603733 | 40,66449 | 24104009 | 0,500866 | 603697 | 0,244803 | 603680 | 0,714673 |
| 243 | 603734 | 40,66449 | 24204020 | 0,500866 | 23604006 | 0,232646 | 603652 | 0,715339 |
| 244 | 603735 | 40,66449 | 23904015 | 0,500866 | 25004013 | 0,213343 | 603684 | 0,717184 |
| 245 | 603736 | 40,66449 | 603721 | 0,500865 | 23704038 | 0,212875 | 603644 | 0,717632 |
| 246 | 603737 | 40,66449 | 23804039 | 0,500865 | 24904011 | 0,212427 | 603721 | 0,722988 |
| 247 | 603738 | 40,66449 | 603696 | 0,500862 | 23804039 | 0,211953 | 603696 | 0,724672 |
| 248 | 603739 | 40,66449 | 603719 | 0,500859 | 24104009 | 0,211112 | 603719 | 0,726157 |
| 249 | 603740 | 40,66449 | 603591 | 0,500854 | 23904015 | 0,21108 | 603591 | 0,729308 |
| 250 | 603747 | 40,66449 | 603697 | 0,500854 | 24204020 | 0,210991 | 603697 | 0,729348 |
| 251 | 603700 | 34,75672 | 603727 | 0,500794 | 2404014 | 0,201042 | 603700 | 0,765988 |
| 252 | 603727 | 32,99169 | 2404014 | 0,500794 | 603727 | 0,200718 | 603727 | 0,766321 |
| 253 | 2404014 | 32,50206 | 603700 | 0,500791 | 603700 | 0,194284 | 2404014 | 0,767118 |
| 254 | 603593 | 26,27304 | 603593 | 0,500714 | 603593 | 0,13946 | 603593 | 0,814077 |
| 255 | 700020 | 13,64663 | 700020 | 0,500629 | 700020 | 0,097019 | 700020 | 0,880704 |
| 256 | 700021 | 13,64663 | 700021 | 0,500625 | 700021 | 0,094866 | 700021 | 0,884032 |
| 257 | 4200980 | 10,3728 | 4200999 | 0,500594 | 4200999 | 0,069118 | 4200999 | 0,900118 |
| 258 | 4200999 | 10,3728 | 4200980 | 0,500591 | 4200980 | 0,067393 | 4200980 | 0,902128 |
| 259 | 704024 | 1,588342 | 704024 | 0,500479 | 704024 | 0,013047 | 704024 | 0,983757 |
| 260 | 800035 | 1,097926 | 800035 | 0,500464 | 800035 | 0,001606 | 800035 | 0,999625 |

**Tablo 23. Öncelikli Değerlendirilicek Hata Türleri**

| H. T. | R. S. | H. T. | R. S. | H. T. | R. S. |
|---|---|---|---|---|---|
| 603704 | * | 603720 | * | 603691 | * |
| 603724 | * | 603699 | * | 603722 | * |
| 603723 | * | 603705 | * | | |

# ÖZGEÇMİŞ

**Kimlik Bilgileri**

Adı Soyadı : Halil İbrahim AYAZ

Doğum Yeri : Turgutlu

Medeni Hali : Bekar

E-posta : halil.ibrahim.ayaz@gmail.com

Adresi : Dere Aşıklar Mah. Demeç Sok. 42/A NEU Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Meram/KONYA

**Eğitim**

Lise : Turgutlu Anadolu Lisesi

Lisans : Endüstri Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi

Yüksek Lisans : Endüstri Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi

**Yabancı Dil ve Düzeyi**

İngilizce

**İş Deneyimi**

Araştırma Görevlisi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, (2014 - devam)

**Deneyim Alanları**

Veri Madenciliği, Hata Türleri ve Etkileri Analizi

**Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi**

**Tezden Üretilmiş Yayınlar**

Ayaz, H. I., and Testik, M. C., "Automation of FMEA for computer servers using log data with grey relational analysis," 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Antalya, 2017, pp. 616-620. doi: 10.1109/UBMK.2017.8093480

**Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar**

Ayaz, H.I., Testik, M.C., "Automation of Failure Modes and Effects Analysis with Failure Data", 2017 International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS), Budapest, 3-7 May 2017.

Ayaz, H.I., Testik, M.C., "Automation of FMEA for Computer Servers Using Log Data with Grey Relational Analysis", 2017 International Conference on Computer Science and Engineering UBMK 17, Antalya, 5-8 October 2017.

# HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
# FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
# YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**
**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA**

Tarih: 19/01/2018

Tez Başlığı / ~~Konusu~~: Bilgisayar Veri Günlükleri Üzerine HTEA Otomasyonu ve Alternatif Yöntemler ile Çözüm Yaklaşımları

Yukarıda başlığı/~~konusu~~ gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 77 sayfalık kısmına ilişkin, 19/01/2018. tarihinde şahsım/~~tez danışmanım~~ tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

1- Kaynakça hariç
2- Alıntılar dâhil
3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

19/01/2018

N. Ayaz

| | |
|---|---|
| **Adı Soyadı:** | Halil İbrahim Ayaz |
| **Öğrenci No:** | N14120070 |
| **Anabilim Dalı:** | Endüstri Mühendisliği |
| **Programı:** | Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı |
| **Statüsü:** | ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr. |

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Murat Caner TESTİK